

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



# **Desempenho energético de edifícios de serviços solares passivos**

**Vera Filipa Gomes Gaspar**

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

**2013**



UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



# **Desempenho energético de edifícios de serviços solares passivos**

**Vera Filipa Gomes Gaspar**

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Orientadores:

Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão

Mestre Susana Maria Lasbarrères Camelo

**2013**



## Agradecimentos

A realização desta dissertação marca o fim de uma importante etapa da minha vida, pelo que não poderia perder a oportunidade de mostrar o meu agradecimento e felicidade a todos os que estiveram a meu lado.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Marta Oliveira Panão, pela disponibilidade constante, por todo o empenho e pelo conhecimento partilhado.

De seguida, o meu obrigada à Engenheira Susana Camelo pela ajuda e compromisso sempre presentes ao longo deste trabalho, bem como ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia pela oportunidade de aprender com os melhores.

Ao Arquiteto Francisco Moita, o meu agradecimento pela simpatia e disponibilização de todo o material sem o qual este trabalho não teria sido possível.

A todos os meus amigos que me acompanharam ao longo destes anos o meu obrigada pelo incentivo, paciência e companheirismo de todos os dias.

Ao André, pela maior amizade, pelos conselhos e pelo apoio incondicional nos momentos mais e menos felizes.

À minha irmã, por suportar a minha rabugice e por estar sempre a torcer por mim como ninguém.

Por último, e sem dúvida mais importante, o meu enorme obrigada aos meus pais por todo o esforço necessário à concretização deste nosso sonho. Nunca lhes conseguirei expressar a minha gratidão por tanto amor e proteção.



## Resumo

O constante crescimento do setor dos edifícios na Europa nos últimos anos tem-se traduzido num aumento do consumo total de energia. Deste modo, têm vindo a ser introduzidas políticas de incentivo à melhoria do desempenho energético dos edifícios bem como de divulgação de estratégias minimizadoras do consumo de energia, como é exemplo a arquitetura solar passiva.

A presente dissertação analisa um edifício solar passivo segundo dois modelos: o Modelo Real, que descreve as características construtivas do edifício tal como este é no projeto arquitetónico, e o Modelo de Referência, no qual são impostos os valores descritos na legislação portuguesa. Para tal, concebeu-se um indicador que permite de alguma forma aferir o desempenho energético do edifício em cada uma dos casos.

Concluiu-se que o consumo elétrico total do edifício é 37% menor no Modelo Real do que se tivessem sido adotadas as condições de referência.

Fizeram-se ainda algumas hipóteses relativamente às soluções construtivas, bem como aos perfis de ocupação, por forma a avaliar a influências dos mesmos no comportamento térmico e no desempenho energético do edifício em estudo. Com estas análises verificou-se que as estratégias passivas projetadas foram realmente efetivas no aumento do desempenho energético do edifício.

**Palavras-chave:** Indicador de Desempenho Energético, estratégia solar passiva, edifício de serviços, edifício de referência, edifício solar passivo





## **Abstract**

The continuous growth of the sector buildings in Europe in recent years has resulted in an increase in total energy consumption. In this way, many policies have been introduced to encourage the improvement of energy performance in buildings as well as strategies to minimize the energy consumption, such as passive solar architecture.

This dissertation analyzes a passive solar building according to two models: the Real Model, which models the design characteristics of the building such as it is in its architectural project, and the Reference Model, in which the values described in the Portuguese legislation are imposed. To this end, an indicator that allows quantifying the energy performance of the building in each of the cases was defined.

The main conclusion is that the total building electrical consumption in the Real Model is 37% lower than if the reference conditions had been established.

Lastly, some assumptions concerning constructive solutions were made, as well as profiles of occupation, in order to evaluate their influence in the energy performance of the building, providing that the passive strategies used during the design stage were effective in increasing the overall building energy performance.

**Keywords:** Energy Performance Indicator, passive solar strategy, services building, reference building, passive solar building



# Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos.....	4
1.3	Estrutura do trabalho .....	4
2.	Edifícios Solares Passivos .....	7
2.1	Conceito “bioclimático” .....	7
2.2	Sistemas solares passivos .....	8
2.3	Estratégias solares passivas.....	9
3.	EnergyPlus.....	11
4.	Caso de Estudo.....	13
4.1	Edifício .....	13
4.1.1	Localização .....	14
4.1.2	Modelos.....	14
4.2	Soluções construtivas e ocupacionais do Modelo Real.....	17
4.2.1	Atividade .....	17
4.2.2	Iluminação .....	19
4.2.3	Elementos opacos .....	20
4.2.4	Vãos envidraçados.....	22
4.2.5	Sombreamentos .....	23
4.2.6	AVAC e AQS .....	24
4.3	Soluções construtivas e ocupacionais do Modelo de Referência .....	25
4.3.1	Atividade .....	25
4.3.2	Iluminação .....	25

4.3.3	Elementos construtivos.....	25
4.3.4	Sombreamentos.....	27
4.3.5	AVAC e AQS.....	27
5.	Resultados.....	29
5.1	Ganhos térmicos.....	30
5.1.1	Ganhos solares.....	30
5.1.2	Iluminação.....	31
5.1.3	Outros.....	32
5.1.4	Ganhos térmicos totais do Modelo Real.....	32
5.1.5	Ganhos térmicos totais do Modelo de Referência.....	33
5.2	Indicadores de Desempenho Energético.....	34
5.2.1	Aquecimento.....	36
5.2.2	Arrefecimento.....	37
5.2.3	Iluminação.....	39
5.2.4	IDE <sub>total</sub> .....	40
6.	Variações paramétricas.....	45
6.1.1	Com ventilação noturna.....	45
6.1.2	Duplicação da espessura do isolamento térmico nas paredes.....	46
6.1.3	Variação da orientação.....	47
6.1.4	Sem vegetação.....	49
7.	Análise crítica às condições de referência.....	51
7.1	Modelo de Referência e Modelo Alternativo.....	51
7.2	Modelo Real e Modelo Alternativo.....	53
8.	Conclusões.....	57
8.1	Conclusões.....	57

Referências Bibliográficas .....	59
Anexos .....	61
Anexo I – Equipamentos elétricos considerados.....	61
Anexo II – Dados climáticos do ficheiro PRT_COIMBRA_IWEC .....	63
Anexo III – Brochura do edifício .....	63



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados do ficheiro climático de Coimbra .....	14
Tabela 2 - Dados ocupacionais do edifício .....	17
Tabela 3 - Dados de iluminação por tipo de espaço .....	19
Tabela 4 - Dados construtivos por tipo de parede .....	21
Tabela 5 - Dados construtivos por tipo de cobertura .....	22
Tabela 6 - Características térmicas e óticas por tipo de vidro .....	23
Tabela 7 - Características dos sombreamentos .....	23
Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica de referência por zona climática .....	26
Tabela 9 - Características dos elementos construtivos do Modelo de Referência .....	26
Tabela 10 - Fatores solares de referência por zona climática.....	27
Tabela 11 - Parâmetros de consumos e ganhos térmicos analisados .....	29
Tabela 12 - Outros ganhos térmicos .....	32
Tabela 13 - Dados de cálculo do $IDE_{\text{aquecimento}}$ .....	37
Tabela 14 - Dados de cálculo do $IDE_{\text{arrefecimento}}$ .....	38
Tabela 15 - Dados de cálculo do $IDE_{\text{iluminação}}$ .....	39
Tabela 16 - Consumos elétricos anuais .....	40
Tabela 17 - Ganhos térmicos dos computadores e equipamentos utilizados .....	61

## Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de energia final por setor (UE) .....	2
Figura 2 - Moradia romana de arquitetura solar passiva .....	7
Figura 3 - Processos da simulação dinâmica em EnergyPlus .....	12
Figura 4 - Desenho computacional do edifício em estudo .....	15
Figura 5 - Planta do piso 0 do grupo I .....	16
Figura 6 - Planta do piso 1 do grupo I .....	16
Figura 7 - Planta do grupo II .....	16
Figura 8 - Sombreamento observado no software de simulação térmica.....	24
Figura 9 - Ganhos térmicos solares .....	30
Figura 10 - Ganhos térmicos devidos à iluminação .....	31

Figura 11 - Ganhos térmicos totais do Modelo Real.....	32
Figura 12 - Ganhos térmicos totais do Modelo de Referência .....	33
Figura 13 - Consumos elétricos devidos ao aquecimento .....	36
Figura 14 - Consumos elétricos devidos ao arrefecimento.....	38
Figura 15 - Consumos elétricos devidos à iluminação .....	39
Figura 16 - Consumos elétricos mensais para o Modelo Real .....	41
Figura 17 - Consumos elétricos mensais para o Modelo de Referência .....	41
Figura 18 - Consumos elétricos do Modelo Real sob forma percentual.....	42
Figura 19 - Consumos elétricos do Modelo de Referência sob forma percentual .....	43
Figura 20 - Necessidades de arrefecimento com e sem ventilação noturna.....	45
Figura 21 - Necessidades de aquecimento variando a espessura do isolamento .....	46
Figura 22 - Necessidades de arrefecimento variando a espessura do isolamento .....	46
Figura 23 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a 45° .....	47
Figura 24 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a 90° .....	48
Figura 25 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a -45° .....	48
Figura 26 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a -90° .....	49
Figura 27 - Necessidades de arrefecimento com e sem vegetação na fachada sul.....	50
Figura 28 – Consumos associados ao aquecimento - modelos de Referência e Alternativo ..	51
Figura 30 - Consumos associados à iluminação - modelos de Referência e Alternativo .....	52
Figura 29 – Consumos associados ao arrefecimento - modelos de Referência e Alternativo	52
Figura 31 – Consumos associados ao aquecimento dos modelos Real e Alternativo .....	53
Figura 32 – Consumos associados ao arrefecimento dos modelos Real e Alternativo .....	54
Figura 33 - Consumos associados à iluminação dos modelos Real e Alternativo.....	54



## Abreviaturas

AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DL	Decreto-Lei
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EN	<i>European Standards</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
IDE	Indicador de Desempenho Energético
IEE	Índice de Eficiência Energética
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
nZEB	<i>Nearly Zero-Energy Buildings</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
$R_{IDE}$	Rácio do Indicador de Desempenho Energético
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética

## Nomenclatura

$\overline{G}$	Radiação média global	Wh/m <sup>2</sup>
$\overline{T}$	Temperatura média mensal	°C
$\dot{m}$	Caudal	m <sup>3</sup> /s
A	Área	m <sup>2</sup>
A <sub>p</sub>	Área do pavimento	m <sup>2</sup>
C	Capacitância	F
C <sub>p</sub>	Calor específico a pressão constante	J/kg.K
C <sub>T</sub>	Capacidade térmica	J/K
e	Espessura	m
E <sub>f</sub>	Consumo médio anual de energia utilizada por fonte de energia	kWh

$F_{pu}$	Fator de conversão para energia primária	$kWh_{ep}/kWh$
$g$	Fator solar	
$h$	Entalpia	$J/kg$
$Q$	Carga térmica	$J$
$R$	Resistência térmica	$m^2.K/W$
$T$	Temperatura	$^{\circ}C$
$U$	Coeficiente de transmissão térmica	$W/m^2.K$
$U_{ref}$	Coeficiente de transmissão térmica de referência	$W/m^2.K$
$\eta$	Rendimento	
$\lambda$	Condutividade térmica	$W/m.K$
$\rho$	Densidade	$kg/m^3$

## **1. Introdução**

### **1.1 Enquadramento**

As políticas energéticas mundiais são atualmente protagonistas das mais variadas discussões das ditas sociedades desenvolvidas devido a três grandes razões. Em primeiro lugar, o fato de os combustíveis fósseis serem um recurso finito parece preocupante e a sua utilização para o fabrico de plásticos e produtos similares revela-se mais prioritária que a sua queima. Em segundo lugar, cada país procura a sua segurança e dependência energética. Afinal, mesmo que os recursos fósseis continuem disponíveis algures pelo mundo, nenhum país deseja ser alvo das oscilações de uma economia tão vulnerável à vontade de outro. Em terceiro lugar, talvez o mais manifesto do pensamento leigo, as alterações climáticas são um dos maiores desafios que se colocam atualmente à humanidade. A maioria das emissões de dióxido de carbono provêm da queima de combustíveis fósseis e a única razão pela qual continuamos a queimá-los reside na necessidade de produção de energia [MacKay, 2009].

Os edifícios representam atualmente 41% da energia final consumida na Europa, o que os torna no maior setor de energia final, seguido pelos setores dos transportes (32%) e da indústria (25%) [Buildings brochure, 2012]. O crescimento da população, a melhoria das condições de conforto e o aumento do tempo que os ocupantes passam no interior dos edifícios de serviços são fatores que explicam esta elevada parcela [Lombard, 2007].

O setor dos edifícios pode dividir-se em dois tópicos: edifícios de serviços e edifícios residenciais. No entanto, como será inteligível mais à frente, abordam-se agora com mais detalhe alguns dados acerca do primeiro tópico. Este engloba vários tipos de edifícios, dos quais são exemplos escolas, restaurantes, hotéis, hospitais ou museus, com uma enorme variedade de consumos energéticos (AVAC, AQS, iluminação, refrigeração, cozinha, entre outros). Intuitiva é a perceção da crescente utilização de todos os equipamentos necessários, inevitável é o aumento do consumo de energia que daí advém. Segundo dados recentes, o consumo de energia final dos edifícios tem aumentado 1% a cada ano desde 1990, especialmente devido aos edifícios de serviços (1,5%/ano para edifícios não

residenciais contra 0,6%/ano para edifícios de habitação) [ADENE, 2012]. Na Figura 1 pode observar-se este aumento bem como o seu significado quando comparado a outros setores.

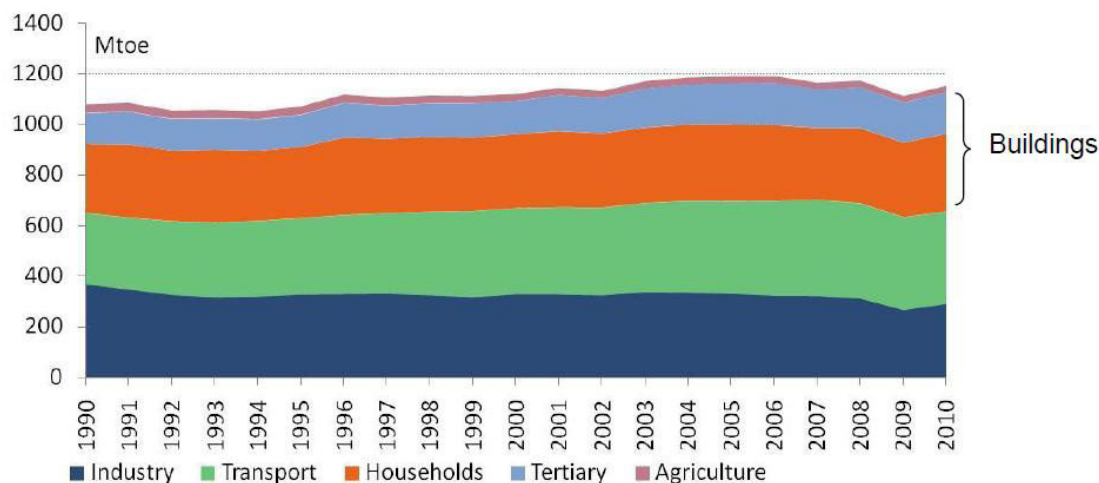


Figura 1 - Consumo de energia final por setor (UE) (Fonte: [ADENE, 2012])

Este aumento do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> dele resultante obrigaram a que a eficiência energética e as estratégias de poupança se tornassem objetivos prioritários nas políticas energéticas da maioria dos países. Um claro exemplo é a *European Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) [Lombard,2007]. Esta Diretiva, 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelece que os estados-membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios. Além disso, a Diretiva obriga cada estado-membro a introduzir os seus próprios certificados de desempenho energético. Em Portugal essa Diretiva foi transposta pela publicação do pacote legislativo composto pelos Decretos-Lei nº 78/2006, 79/2006 e 80/2006 com o qual se criou o Sistema Nacional de Certificação (SCE) e se atualizou o Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) [IEA, 2009]. Fazendo uma análise geral à operacionalização do SCE e ao reforço da utilização do RCCTE e do RSECE, pode dizer-se que a sua aplicação tem sido socialmente benéfica no sentido em que trouxe um destaque crescente aos temas da eficiência energética e à utilização de

energia renovável nos edifícios. Desta forma, para além do natural enquadramento nas políticas e estratégias para o setor energético, estes temas passaram a estar mais próximos dos profissionais, dos agentes de mercado e dos cidadãos.

Em 2010, a Diretiva EPBD de 2002 sofreu uma reformulação, da qual resultou a nova Diretiva 2010/31/UE que, não só esclarece alguns tópicos do documento inicial, como determina novas metas relativas ao desempenho energéticos dos edifícios. Esta reformulação é parte essencial na concretização dos desafios acordados pela Comissão Europeia com as iniciativas *Energy 2020* [European Union, 2011] e *Energy Roadmap 2050* [European Commission, 2011]. Como consequência desta alteração à Diretiva europeia, surge então a necessidade de uma nova transposição da mesma para a legislação nacional. Na atualização agora efetuada à legislação nacional de 2006 destaca-se a modificação da estrutura com a integração do SCE, RCCTE e RSECE num único diploma, promovendo assim uma harmonização de conceitos e terminologias e facilitando o entendimento pelos seus utilizadores. Este novo diploma, DL 118/2013, de 20 de Agosto, não integra ainda as notas técnicas utilizadas ao longo deste trabalho pelo que todos os valores e outros parâmetros considerados foram os constantes nos documentos de trabalho conducentes à Proposta de Revisão Regulamentar de 2012.

Outra das imposições que a mais recente Diretiva EPBD determina é que todos os edifícios novos sejam, até 2020, *nearly Zero Energy Buildings* (nZEB). Significa isto que terão de apresentar bons resultados ao nível do comportamento energético e que as suas necessidades de energia terão de ser em grande parte satisfeitas por fontes de energia renovável, preferencialmente *on-site*. Na realidade a definição de nZEB é variável de país para país mas, em termos gerais, pressupõe níveis de isolamento elevados, infiltração de ar controlada, aproveitamento máximo da iluminação natural e a utilização de equipamentos, janelas ou outras estratégias passivas que minimizem as necessidades energéticas, as quais serão posteriormente descritas [BPIE, 2011].

Por último, sabe-se que, apesar de Diretivas cada vez mais exigentes, o crescimento do consumo energético deverá continuar durante anos. Pelo menos até os recursos naturais ou a recessão económica o permitirem. É por isso necessário uma iniciativa conjunta que sensibilize não só os governos, mas essencialmente as populações, levando-as a

compreender que uma mudança de atitude trará não só poupança económica mas também uma melhoria dos níveis de conforto e uma valorização dos seus edifícios.

## **1.2 Objetivos**

Como mencionado anteriormente, cada estado-membro procura agora a melhor forma de corresponder às expectativas criadas acerca do desempenho energético dos seus edifícios. Para tal, é necessário que se tenha presente que a localização, clima e capacidades de cada país são distintas e que, por isso, é essencial que cada legislação nacional seja o mais adequada possível a estas características. É neste sentido que surge a realização do caso de estudo desta dissertação cujo objetivo principal é a ilustração de um edifício de serviços termicamente otimizado e o seu enquadramento no âmbito do SCE.

Para tal, foram desenvolvidos dois modelos de estudo, um real e um de referência. O primeiro modelo representa o edifício tal como foi construído, quer em termos geométricos quer construtivos, enquanto o segundo modelo, geometricamente idêntico, cumpre os valores de referência para os elementos construtivos previstos na legislação. Assim, através da definição de um Indicador de Desempenho Energético (IDE) é possível comparar estas duas situações e estabelecer uma razão entre elas.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Do presente capítulo consta uma introdução e enquadramento ao trabalho, a definição dos seus objetivos e a apresentação da sua estrutura.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica dos edifícios solares passivos, desde a definição do conceito à descrição dos fatores que afetam as necessidades de energia térmica e elétrica deste tipo de edifícios.

Do capítulo 3 consta uma breve introdução ao *software* utilizado para a simulação efetuada.

No capítulo 4 é introduzido o caso de estudo. Além da descrição das características e geometria do edifício, são apresentados em detalhe os dois modelos em estudo: real e de referência.

Os resultados são apresentados no capítulo 5. Em primeiro lugar é feita uma análise aos valores anuais em termos de ganhos térmicos e necessidades de consumo obtidas para cada modelo. Posteriormente, é definido o Indicador de Desempenho Energético (IDE) e são apresentados os valores estimados para cada caso. A análise mensal de alguns parâmetros que se consideraram mais relevantes é ainda realizada.

No capítulo 6 são avaliadas algumas análises alternativas ao caso de estudo. Foram simuladas soluções alternativas que poderiam ser implementadas no edifício e analisadas as implicações resultantes.

No capítulo 7 é feita uma análise crítica às condições que determinam o desempenho energético de um edifício de referência descritas na documentação que suporta a revisão regulamentar.

Por último, no capítulo 8, são apresentadas as principais conclusões que importa reter com a elaboração desta dissertação.

Apresentam-se ainda os anexos I, II e III relativos à descrição dos equipamentos assumidos, a dados do ficheiro climático proveniente do *software* utilizado e a uma brochura com uma descrição geral do edifício, respetivamente.





## 2. Edifícios Solares Passivos

### 2.1 Conceito “bioclimático”

A conceção bioclimática de um espaço consiste em encontrar a melhor combinação entre a constituição do mesmo, o clima em que se insere e o comportamento dos seus ocupantes de forma a minimizar as necessidades de aquecimento e arrefecimento [Bio-mag, 2008]. Este conceito bioclimático é também conhecido por sistema solar passivo e, apesar de ser muitas vezes tratado como vanguardista, acredita-se datar do ano 7000 a.C.. Foi a partir desta altura que o Homem começou a procurar desenvolver habitações capazes de criar um ambiente confortável nas quais pudesse viver por um longo período de tempo. No entanto, foi na civilização greco-romana que se notou um maior interesse pelo desenvolvimento de projetos de arquitetura bioclimática. A época românica foi igualmente protagonizada por alguma arquitetura cujas características dependiam das diferentes estações do ano e os romanos foram o primeiro povo a desenvolver e usar betão nas paredes e vidros nas janelas. As habitações típicas romanas tinham geralmente um átrio no qual os moradores viviam na época de inverno, em que o sol incidia no complúvio, e uma zona mais fresca denominada por peristilo para onde se mudavam no verão. Na Figura 2 pode observar-se um exemplo de uma típica moradia romana.

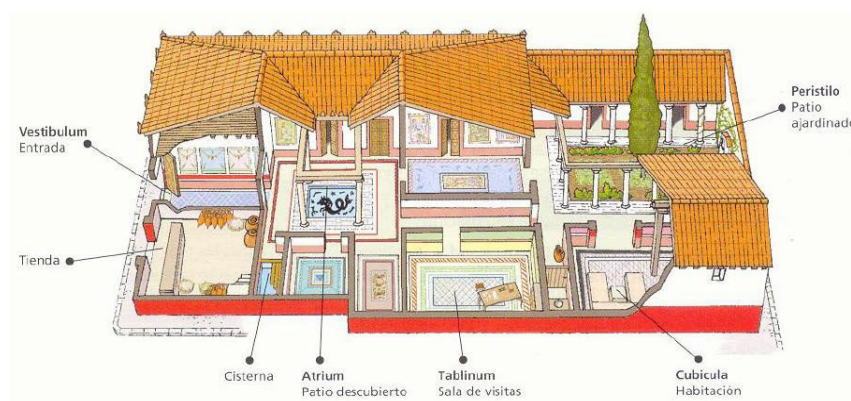


Figura 2 - Moradia romana de arquitetura solar passiva (Fonte: [Hoff, 2010])

Pela figura é perceptível que existia já alguma preocupação em maximizar o aproveitamento da radiação solar no inverno, projetando aberturas de cada espaço devidamente dimensionadas para este efeito. As palas e a vegetação eram implementadas de forma a

criar sombreamento na época de verão e a construção de um ou mais pequenos lagos proporcionava a refrigeração por evaporação para maior conforto nesta estação [Hoff, 2010].

Em Portugal o conceito de arquitetura bioclimática na sua forma elementar existe também há várias centenas de anos mas só nos anos 70, talvez impulsionado pela crise petrolífera, começou a ser visto como uma forma de reduzir o consumo energético. Além disso, o aumento da qualidade de vida das populações e os níveis de conforto exigidos que dele derivam provocaram o estudo e aplicação de novas tecnologias solares passivas nos edifícios, em especial nos edifícios de serviços. Surge então a necessidade de aprofundar os conhecimentos dos fenómenos termodinâmicos de forma a adequar-lhes novos princípios, formas e materiais. Só com a continuidade deste estudo será possível alcançar edifícios com menores consumos e custos associados, mais integrados na natureza e, não menos importante, mais adaptados aos requisitos das populações.

## **2.2 Sistemas solares passivos**

Um sistema passivo de captação de energia solar é, ao contrário dos chamados sistemas ativos, aquele em que a energia térmica é captada e transmitida naturalmente por convecção, condução e radiação, sem se recorrer a meios mecânicos artificiais. São, contudo, admitidos pequenos contributos exteriores que tendem a aumentar o rendimento do sistema através do acionamento de dispositivos de isolamento periódico, circulação de ar, sombreadores móveis, entre outros [Moita, 2010].

No entanto, apesar de atualmente existirem tecnologias e formas de construção de edifícios solares passivos de excelente desempenho, é incorreto assumir que as necessidades de energia dos sistemas utilizados para aquecimento, arrefecimento ou iluminação possam ser totalmente satisfeitas apenas com estes sistemas. Seja devido ao tamanho do edifício, ao tempo de ocupação ou às elevadas cargas internas, os sistemas solares passivos dão um enorme suporte aos sistemas energéticos convencionais mas não é suposto que os substituam completamente. Todavia, uma adequada e correta aplicação destes conceitos

passivos permitem uma redução das cargas térmicas dos sistemas tradicionais de aproximadamente 40% [Morozov, 2011].

Este tipo de construção tem, em vários países, uma obrigação legislativa em termos de arquitetura e urbanismo sendo o seu cumprimento indispensável ao licenciamento dos edifícios. Em Portugal, a legislação visa melhorar o desempenho térmico dos edifícios sem que exista uma especial incidência para o uso de sistemas passivos.

## **2.3 Estratégias solares passivas**

São muitas as estratégias solares passivas que podem contribuir para a redução das necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação de um determinado edifício, sendo que a sua utilização depende do clima e das características envolventes em que este se insere [Gonçalves *et al*, 2004]. Assim, é por vezes difícil enunciar e descrever de forma precisa quais as melhores estratégias solares passivas uma vez que estas dependem do fim que se pretende atingir. Perante isto, optou-se antes por apresentar os principais aspetos a ter em conta aquando da execução de um projeto bioclimático, aspetos esses que se encontram enunciados e descritos nos parágrafos seguintes [U.S. Department of Energy, 2000].

- **Orientação** – a orientação de um edifício tem um grande peso nas suas necessidades energéticas. Num clima frio do hemisfério norte, por exemplo, é imprescindível que se opte por fachadas predominantemente orientadas a sul e livres de grandes obstáculos que impeçam a incidência de radiação solar.
- **Isolamento** – um adequado isolamento térmico dos elementos construtivos opacos permite uma redução dos ganhos e perdas térmicas. Para tal, é importante o cumprimento dos valores de isolamento recomendados pela legislação bem como uma constante atenção às falhas que possam ocorrer no isolamento de condutas e outros elementos em contacto com o exterior.
- **Vãos envidraçados** – as propriedades naturais do vidro permitem a transmissão da radiação solar para o interior e, quando em demasia, provocam um efeito de estufa no espaço em questão. Posto isto, o desafio é encontrar um equilíbrio entre a quantidade, orientação e propriedades térmicas e óticas dos vãos envidraçados de

forma a reduzir as necessidades de aquecimento ou arrefecimento consoante o clima em que o edifício se insere. Outro aspeto igualmente importante a ter em conta aquando do dimensionamento destes elementos é a quantidade de iluminação que se pretende nos variados espaços de um edifício.

- Sombreamentos – a altura solar é maior no verão e menor no inverno, fato que se pode mostrar bastante proveitoso aquando do dimensionamento de um vão envidraçado e do seu sombreamento. Uma pala ou estore opacos, por exemplo, devem ser dimensionados de forma a permitir que a radiação incida no vidro na estação de aquecimento e impedir a sua incidência no período de arrefecimento. Além dos vários sistemas de sombreamento disponíveis, é também importante considerar a vegetação na proximidade da envolvente que muitas vezes tem uma grande influência na incidência de radiação nos vãos envidraçados.
- Massa térmica – a massa térmica, ou os materiais utilizados no armazenamento de calor, são uma parte essencial da arquitetura solar passiva. Materiais como o betão, a alvenaria, o gesso e até mesmo a água têm a capacidade de absorver o calor durante o dia e libertá-lo lentamente horas depois. Um adequado proveito deste retardamento pode ser útil quando se pretende aquecer um espaço no período noturno (um quarto numa habitação, por exemplo).
- Ventilação natural – são muitos os casos em que um correto dimensionamento e utilização de sistemas de ventilação naturais permitem reduzir a necessidade de ventilação mecânica. Em muitos climas, a abertura de janelas ou outros dispositivos no período noturno de forma a consentir a entrada de ar frio do exterior podem mesmo anular a necessidade de sistemas de arrefecimento mecânicos. Para qualquer dos casos, existem várias estratégias como a ventilação cruzada, as chaminés solares ou a colocação de simples ventiladores que devem ser avaliadas para o propósito que se pretende para o edifício em estudo.

Aquando do desenho de estratégias solares passivas que tenham em atenção os pontos enunciados, surge muitas vezes a necessidade de uma simulação térmica computacional que permita verificar o desempenho térmico do edifício mesmo antes da sua construção. Como tal, o capítulo seguinte aborda os aspetos técnicos e descritivos do *software* de simulação térmica utilizado na execução do presente trabalho.

### 3. EnergyPlus

Como referido anteriormente, o presente caso de estudo assenta na simulação térmica de um edifício com a utilização de um *software* de simulação dinâmica, o *EnergyPlus* (versão 7.0). Este é um *software* de simulação integrada no qual é possível inserir e retirar diversos parâmetros permissórios de uma detalhada análise energética, segundo um *timestep* definido.

No presente trabalho, recorreu-se à interface *DesignBuilder* (versão 3.0.0.092) que permite uma rápida introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de um edifício. Deste modo, foram desenhados através desta interface vários blocos 3D que, após recortados, rodados ou aumentados, dão origem à geometria final pretendida. Posteriormente são definidos os materiais utilizados, os elementos da envolvente, os perfis ocupacionais, os sistemas de iluminação e diversos outros parâmetros que se justifiquem.

Aquando da definição de todo o edifício e respetivas características, procede-se então à simulação térmica que, apesar de imediata a partir desta interface, utiliza o *EnergyPlus* para efetuar o balanço térmico de cada uma das zonas definidas, tendo como base a equação 1 que se apresenta de seguida [EnergyPlus, 2010].

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sis} \quad (1)$$

onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$  - energia armazenada no ar

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  - somatório dos ganhos interiores por convecção

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  - transferência de calor por convecção das superfícies

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$  - trocas de calor por mistura de ar entre zonas

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  - trocas de calor por infiltração de ar exterior

$\dot{Q}_{sis}$  - carga térmica do sistema AVAC

$$C_z = \rho_{ar} C_p C_T$$

Sempre de acordo com esta equação, o *software* necessita de um ficheiro climático representativo das condições climatéricas da localização do edifício em análise. Com a intersecção deste ficheiro e dos dados inseridos pelo utilizador é por fim possível observar o desempenho energético do edifício. Na Figura 3 é possível observar uma representação dos processos envolvidos nesta simulação dinâmica.

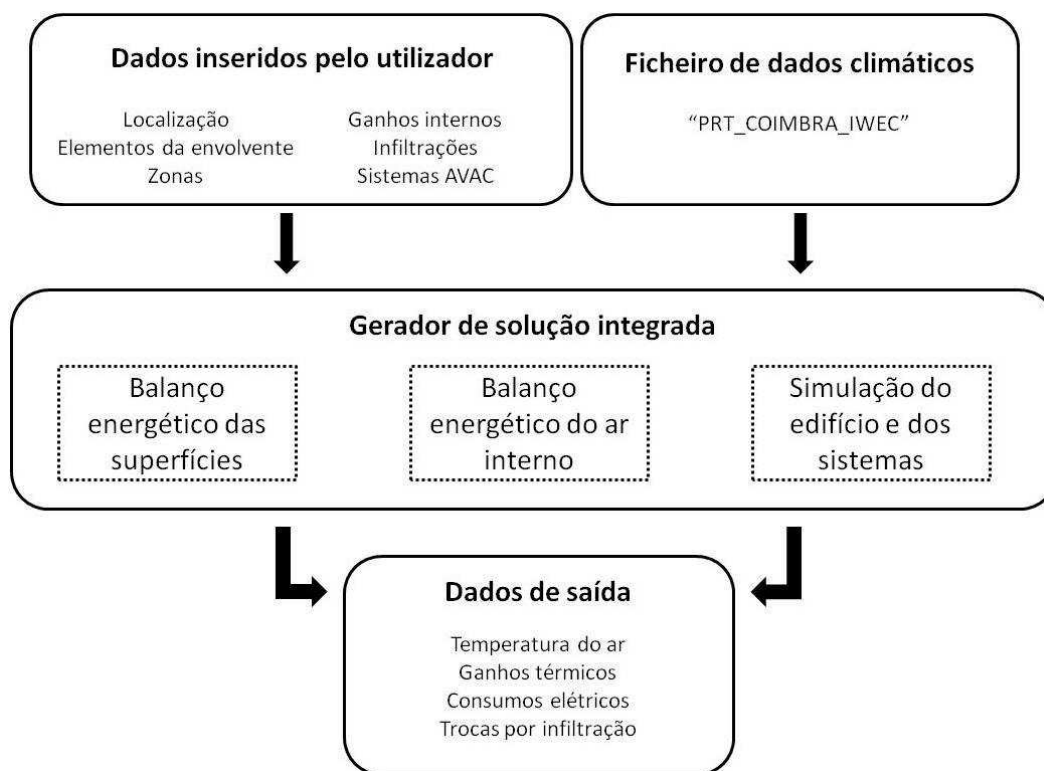


Figura 3 - Processos da simulação dinâmica em EnergyPlus (adaptado de Mateus, 2012)

Na fase seguinte à simulação computacional, é então possível avaliar os parâmetros que mais interessem ao utilizador. Uma vez que se dispõe de toda a informação térmica e energética podem, entre muitas outras hipóteses, prever-se custos energéticos ou adequações regulamentares.

## 4. Caso de Estudo

### 4.1 Edifício

A construção do edifício estudado data de 1992 e este foi construído com o propósito de albergar o Centro de Biomassa para a Energia (CBE). É constituído por dois corpos com funcionalidades distintas, sendo que apenas um deles, o que respeita aos serviços administrativos, gabinetes e serviços socioculturais, foi considerado como caso de estudo. Note-se que a partir deste momento sempre que se mencionar o edifício em estudo apenas está a ser tido em conta o corpo estudado.

Em termos arquitetónicos a sua conceção baseia-se num princípio de aproveitamento dos ganhos solares durante o inverno bem como do seu controlo e amenização no período de verão. Tal aproveitamento solar é conseguido através de uma significativa área de vãos envidraçados a sul e sudoeste bem como de duas estufas localizadas segundo as mesmas orientações.

Apesar de no edifício terem sido projetados e construídos lumiductos nas coberturas horizontais estes não foram considerados neste caso de estudo uma vez que, devido ao fato de não serem fixos, a sua simulação no *software* utilizado não foi possível. Além desta, outra estratégia preconizada pelo arquiteto consistiu no revestimento dos vãos a sul por uma camada de vegetação de folha caduca, de forma a permitir a entrada de radiação nos meses de inverno e provocar um efeito de sombra nos meses de verão. Por forma a minimizar os efeitos da humidade que a colocação de vegetação traz à envolvente construtiva, foi utilizada uma estrutura metálica para colocação da mesma. Na realidade esta técnica de sombreamento através da vegetação não saiu do projeto arquitetónico pelo que passado pouco tempo os ocupantes do CBE se viram obrigados a instalar estores interiores. No entanto, a vegetação será considerada na simulação tal como foi prevista no projeto. Por último, é de realçar que não foi considerada ventilação natural por esta ser uma estratégia fortemente condicionada pela utilização por parte dos ocupantes.

A área total de pavimento do edifício é de 1340 m<sup>2</sup> e este possui 255 m<sup>2</sup> de vãos predominantemente orientados a sul, o que perfaz uma percentagem de 28% da área total das fachadas. Os vãos localizados a sudoeste estão protegidos lateralmente por palas

verticais opacas para que nos dias de verão, devido ao elevado azimute do sol ao final do dia e à elevada radiação solar, os vãos localizados nesta superfície tenham uma proteção quase total da radiação.

#### 4.1.1 Localização

O edifício está localizado em Miranda do Corvo, distrito de Coimbra. A Proposta de Revisão Regulamentar de 2012 define três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente. Pode então ler-se no referido despacho que para o Pinhal Interior Norte, zona na qual se insere a vila de Miranda do Corvo, as zonas de inverno e de verão são respetivamente I2 e V2.

Na Tabela 1 podem observar-se as principais características climáticas da zona em questão. São elas a temperatura média mensal ( $\bar{T}$ ), apresentada em °C, e a radiação média global ( $\bar{G}$ ), apresentada em Wh/m<sup>2</sup>, retiradas do ficheiro climático utilizado pelo *DesignBuilder* (ver Anexo II).

Tabela 1 - Dados do ficheiro climático de Coimbra (PRT\_COIMBRA\_IWEC)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{T}$ [°C]	9,6	11,0	12,7	13,1	15,6	19,0	20,8	21,1	20,6	16,9	12,2	11,2
$\bar{G}$ [Wh/m <sup>2</sup> ]	2093	2606	4084	5330	5802	6687	6819	6273	4787	3328	2043	1679

#### 4.1.2 Modelos

O edifício é composto por dois blocos, I e II. O bloco I tem dois pisos e é constituído essencialmente por gabinetes, salas de reuniões e uma biblioteca. O bloco II, cuja cota se encontra a 1,8m de altura relativamente à cota do bloco I, é constituído por um auditório, um refeitório e respetiva cozinha, uma cafetaria e salas do pessoal.

O modelo geométrico e construtivo deste edifício foi elaborado com base nas plantas do mesmo pelo que todos os elementos desenhados respeitam as dimensões e estruturas



descritas nessas mesmas plantas. A interface utilizada para o desenho do modelo geométrico foi o *DesignBuilder* a partir da qual, com o programa *EnergyPlus*, foi possível fazer simulações numa base de tempo horária e obter dados detalhados do desempenho energético do edifício. Na figura seguinte pode observar-se o aspeto exterior do modelo final.

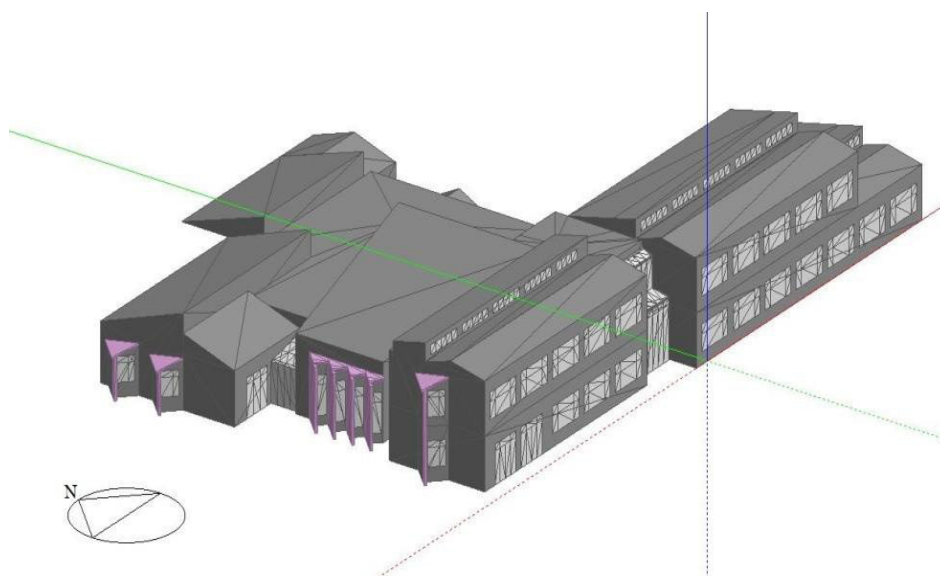


Figura 4 - Desenho computacional do edifício em estudo

Numa primeira fase o edifício foi desenhado e simulado obedecendo a todas as informações descritas pelas plantas e informações prestadas pelo próprio arquiteto. Por sua vez, nos aspetos omissos, dos quais são exemplos a atividade dos ocupantes e os sistemas AVAC utilizados, partiu-se de pressupostos concordantes com a prática corrente. Este primeiro modelo foi designado por “Modelo Real”, denominação pela qual será identificado ao longo deste trabalho. Numa segunda fase, a análise foi feita de acordo com os valores de referência apresentados no RSECE, em Ashrae (2005) e na norma europeia EN 12464 e resultou num modelo ao qual foi dado o nome de “Modelo de Referência” cuja descrição detalhada será feita posteriormente. Note-se que, uma vez que são desconhecidos os dados sobre a utilização do edifício, assumiu-se uma ocupação média de 20 pessoas para ambos os modelos. As zonas térmicas consideradas em ambos os modelos estão representadas nas figuras Figura 5, Figura 6 e Figura 7.

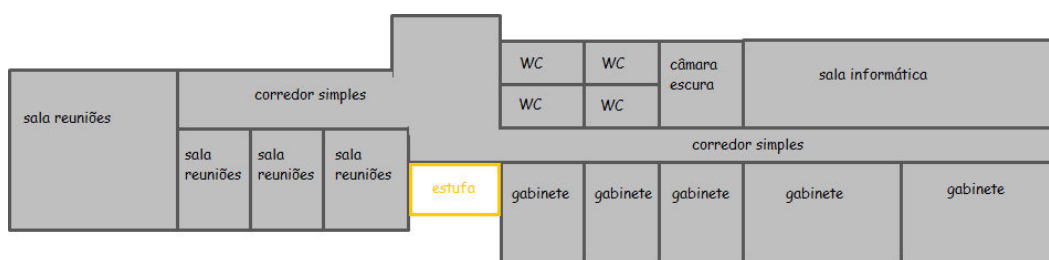


Figura 5 - Planta do piso 0 do grupo I



Figura 6 - Planta do piso 1 do grupo I

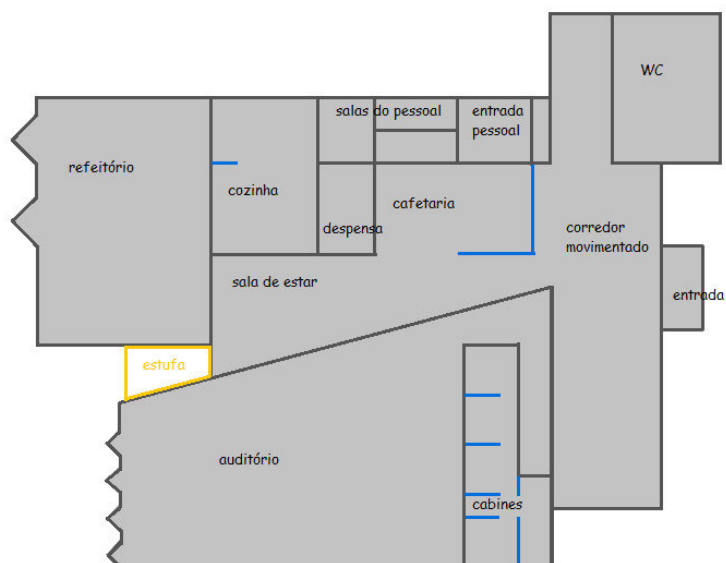


Figura 7 - Planta do grupo II

De acordo com a divisão por tipo de espaço descrita nas figuras anteriores, é então possível caracterizar essas mesmas zonas em função do seu tipo de atividade, características de construção, iluminação e sistemas AVAC utilizados.

## 4.2 Soluções construtivas e ocupacionais do Modelo Real

### 4.2.1 Atividade

No que respeita à ocupação do espaço não são conhecidos os dados reais da utilização do edifício pelo que se consideraram os horários e padrões descritos na Tabela 2. Também nesta tabela é possível observar os dados relativos à densidade ocupacional, carga dos equipamentos e caudal mínimo de ar novo por ocupante.

Tabela 2 - Dados ocupacionais do edifício

Tipo de espaço	Horário		[m <sup>2</sup> /ocupante]	[W/m <sup>2</sup> ]	[l/s.ocupante]
<b>Gabinetes</b>	Dias úteis	9h-18h	16,66	12,9	6,67
<b>Salas de reuniões</b>	Quarta-feira	14h-15h	3,03	24,9	6,67
<b>Sala de informática</b>	Dias úteis	9h-18h	25	49,7	6,67
<b>Biblioteca</b>	Dias úteis	15h-16h	25	2,0	5,55
<b>Refeitório</b>	Dias úteis	12h30-13h30	4,76	0	6,67
<b>Cozinha</b>	Dias úteis	9h-15h	9,09	160,0	9,72
<b>Auditório</b>	Segunda-feira	10h-11h	5	9,1	6,67
<b>Cabines</b>	Segunda-feira	10h-11h	9,09	36,6	0
<b>Corredores simples</b>	Dias úteis	9h-18h	10	0	0
<b>Corredores movimentados</b>	Dias úteis	9h-18h	5	8,3	0
<b>WCs</b>	Dias úteis	9h-18h	10	0	0
<b>Câmara escura</b>	Não ocupado				
<b>Despensa</b>	Não ocupado				

Como é possível observar na referida tabela, a câmara escura e a despensa foram considerados espaços sem ocupação uma vez que não têm implicações nos cálculos térmicos. Os caudais mínimos de ar novo, diretamente dependentes do tipo de atividade

desenvolvida pelos trabalhadores e consequente taxa metabólica, tiveram por base os valores preconizados no RSECE. Os corredores, WCs e cabines multimédia do auditório são espaços em que apenas é necessária uma renovação de ar mínima, ao invés de um caudal de ar novo, uma vez que a sua ocupação não é permanente nem significativa. No entanto esta renovação não se define em termos numéricos pois é naturalmente cumprida com as infiltrações que ocorrem aquando da utilização destes espaços. Nas divisões em que se supõe a utilização de equipamentos informáticos ou eletrodomésticos foram assumidos os valores descritos em Ashrae (2005). No anexo Anexo I estão descritos os equipamentos utilizados em cada espaço.

### 4.2.2 Iluminação

Face à ausência de informação referente ao tipo de iluminação utilizada no edifício, foi também definido um padrão que estabelece dois parâmetros para cada tipo de espaço: a iluminância [lux] e a potência de iluminação [ $\text{W/m}^2/100\text{lux}$ ], de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de iluminação por tipo de espaço

Tipo de espaço	Iluminância [lux]	Potência [ $\text{W/m}^2/100\text{lux}$ ]
Corredores simples	100	4,5
Corredores movimentados	200	4,5
Gabinetes	500	2,8
Salas de reuniões	500	2,8
Biblioteca	500	2,8
WCs	200	4,5
Cozinha	500	4
Refeitório	300	4,5
Sala de informática	500	2,8
Câmara escura	100	4,5
Despensa	100	4,5
Auditório	500	2,8
Cabines	500	2,8

Os valores referentes à iluminância provêm da norma europeia EN 12464 enquanto os valores relativos à potência de iluminação, indicados para cada espaço, foram retirados do RSECE. Por forma a reduzir o desperdício de eletricidade despendida na iluminação, optou-se por um *lighting control* do tipo *stepped*. A aplicação deste tipo de controlo faz com que, aquando da presença de radiação solar num determinado espaço, todas as lâmpadas ou parte delas, consoante a necessidade, sejam automaticamente desligadas.

#### **4.2.3 Elementos opacos**

Os materiais dos elementos de construção opacos, paredes e coberturas, encontram-se explícitos nas plantas pelo que a sua inclusão no modelo a simular foi facilmente implementada. Assim, uma vez conhecido cada material e respetiva espessura utilizada, recorreu-se a Pina dos Santos (2006) para definir a respetiva condutibilidade térmica. No entanto, como a condutibilidade térmica dos materiais não homogéneos tem significado físico, procedeu-se ao cálculo de um valor equivalente através da resistência térmica. Desta forma, para tijolos cerâmicos e blocos de cimento ou betão, dividiu-se a espessura do material em questão pela sua resistência térmica e obteve-se uma condutibilidade térmica equivalente. Relativamente aos valores de massa volúmica de cada material, também é necessário fazer esta distinção entre materiais homogéneos e não homogéneos. Quando se trata dos primeiros, basta retirar o valor descrito em Pina dos Santos (2006). No entanto, a atribuição dos valores referentes às massas volúmicas dos materiais que contêm espaços de ar apenas é possível através de um simples método de cálculo. Em Pina dos Santos (1986) extraíram-se os valores das massas superficiais das paredes, aos quais se subtraíram os valores das massas superficiais dos rebocos exterior e interior. Obtém-se então uma aproximação à massa superficial do elemento resistente e, consequentemente, a sua massa volúmica. Observa-se assim que para espessuras diferentes de um mesmo material as suas propriedades apresentam valores distintos. Note-se que estes valores podem diferir consideravelmente dos adotados noutras situações uma vez que têm em consideração diferentes espaços de ar e materiais de aglutinação, pelo que é mais correto referi-los como massas volúmicas equivalentes. Por fim, os valores de calor específico de cada material, homogéneos e não homogéneos, foram retirados de Moita (2010).

Como a constituição das paredes exteriores não é igual para todas as fachadas ou divisões, e o mesmo para os elementos de cobertura, encontram-se nas tabelas 4 e 5 os dados relativos a cada estrutura construtiva. Note-se que o valor apresentado como total, U-value, é o valor final calculado pelo *DesignBuilder*, pelo que tem intrínseca a influência das resistências superficiais exterior e interior ( $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  e  $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , respetivamente).

Tabela 4 - Dados construtivos por tipo de parede

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.K]	R [m <sup>2</sup> .K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [J/kg.K]	U-value [W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Parede exterior A</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	0,509
	Tijolo furado 15cm	0,150	0,385	0,390	840,00	0,230	
	Poliestireno expandido	0,040	0,037	1,081	30,00	0,350	
	Tijolo furado 7cm	0,070	0,368	0,190	942,90	0,230	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	
<b>Parede exterior B</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	0,516
	Tijolo furado 15cm	0,150	0,385	0,390	840,00	0,230	
	Poliestireno expandido	0,040	0,037	1,081	30,00	0,350	
	Tijolo furado 11cm	0,110	0,407	0,270	963,60	0,230	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	
<b>Parede exterior C</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	1,569
	Bloco de cimento	0,200	0,667	0,300	1106,70	0,290	
	Bloco de cimento	0,200	0,667	0,300	1106,70	0,290	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	
<b>Parede exterior D</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	0,538
	Tijolo furado 11cm	0,110	0,407	0,270	963,60	0,230	
	Poliestireno expandido	0,040	0,037	1,081	30,00	0,350	
	Tijolo furado 7cm	0,070	0,368	0,190	942,90	0,230	
	Air gap	0,030	-	-	-	0,279	
	Tijolo burro 10cm	0,100	0,769	0,130	1760,00	0,230	
<b>Paredes interiores</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	1,528
	Tijolo furado 11cm	0,110	0,407	0,270	963,60	0,230	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	

Tabela 5 - Dados construtivos por tipo de cobertura

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.K]	R [m <sup>2</sup> .K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [J/kg.K]	U-value [W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Cobertura inclinada A</b>	Telha cerâmica	0,060	0,600	0,100	1500,00	0,260	0,627
	Espaço não ventilado	0,050	0,455	0,110	-	0,279	
	Betonilha armada	0,050	0,700	0,071	1300,00	0,278	
	Poliuretano extrudido	0,040	0,040	1,000	50,00	0,330	
	Lage	0,150	1,650	0,091	2300,00	0,270	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,00	0,290	
<b>Cobertura inclinada B</b>	Telha cerâmica	0,060	0,600	0,100	1500,00	0,260	4,167
<b>Cobertura plana A</b>	Terra vegetal	0,160	1,100	0,145	2000,00	0,278	
	Leca	0,120	0,160	0,750	350,00	0,260	
	Poliuretano extrudido	0,040	0,040	1,000	50,00	0,330	
	Camada de forma	0,140	0,360	0,389	1000,00	0,278	
	Lage	0,150	1,650	0,091	2300,00	0,270	
<b>Cobertura plana B</b>	Lã de rocha	0,140	0,042	3,333	160,00	0,450	0,384
	Lage	0,150	1,650	0,091	2300,00	0,270	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,000	0,290	

#### 4.2.4 Vãos envidraçados

Ao contrário dos elementos opacos, que se encontram descritos nas plantas, para a constituição dos vãos envidraçados assumiu-se a utilização de vidros duplos nas janelas exteriores e de vidros simples nas janelas interiores e estufas. Utilizaram-se os valores padrão definidos para vãos envidraçados com caixilharia metálica sem corte térmico definidos em Pina dos Santos (2006), onde o coeficiente de transmissão térmica do vidro duplo é de 3,1W/m<sup>2</sup>.K e o do vidro simples de 6,5 W/m<sup>2</sup>.K. Por fim, selecionados no *DesignBuilder* os vãos com os coeficientes de transmissão térmica correspondentes, foi possível obter o respetivo fator solar e outras propriedades óticas de menor relevância para a simulação pretendida, cujos valores se apresentam na Tabela 6.



Tabela 6 - Características térmicas e óticas por tipo de vidro

Tipo de vão	Tipo de vidro	U [W/m <sup>2</sup> .K]	Fator solar
Vidros exteriores	Duplo	3,157	0,693
Vidros interiores	Simples	6,257	0,858
Vidros das estufas	Simples	6,257	0,858

De notar que os vãos deste Modelo Real estão predominantemente orientados a sul e sudoeste e ocupam uma área de aproximadamente 28% da área das fachadas.

#### 4.2.5 Sombreamentos

Foram considerados os três tipos de sombreamentos descritos no projeto: palas verticais nas janelas a sudoeste, vegetação nas janelas a sul e estores interiores nas janelas a sudoeste e este.

Uma vez que no *software* utilizado é difícil descrever corretamente a vegetação, simulou-se antes a colocação de estores exteriores do tipo venezianas cujas propriedades térmicas e óticas se assemelham às da vegetação [Patrício, 1997]. Deste modo, apesar de existirem pormenores que são ignorados, como o efeito da humidade e da oxigenação da vegetação na fachada, esta comparação é tida como aproximada da realidade. Na Tabela 7 estão descritos os vários tipos de sombreamento.

Tabela 7 - Características dos sombreamentos

	Tipo de sombra	Transmissividade [%]	Refletividade [%]
Vegetação	Venezianas	20	60
Estores interiores	Cortina de rolo	5	35
Palas verticais	Pala fixa	n.a.	40

Uma vez que se se simulasse vegetação esta seria de folha caduca os estores do tipo venezianas apenas se encontram acionados nos meses da estação de arrefecimento. Relativamente aos estores interiores, colocados em todos os vãos envidraçados exceto nos situados a norte, definiu-se que são controlados pelos ocupantes do edifício. Este controlo apenas é possível em horário laboral e é do tipo “solar”, o que significa que a partir de um determinado nível de radiação solar incidente, que poderá conduzir a situações de desconforto em concomitância com o horário de ocupação, as cortinas são ativadas. O nível de radiação solar incidente, a partir do qual se faz este controlo interior, foi definido nos  $300 \text{ W/m}^2$ , como define a ISO 13790.

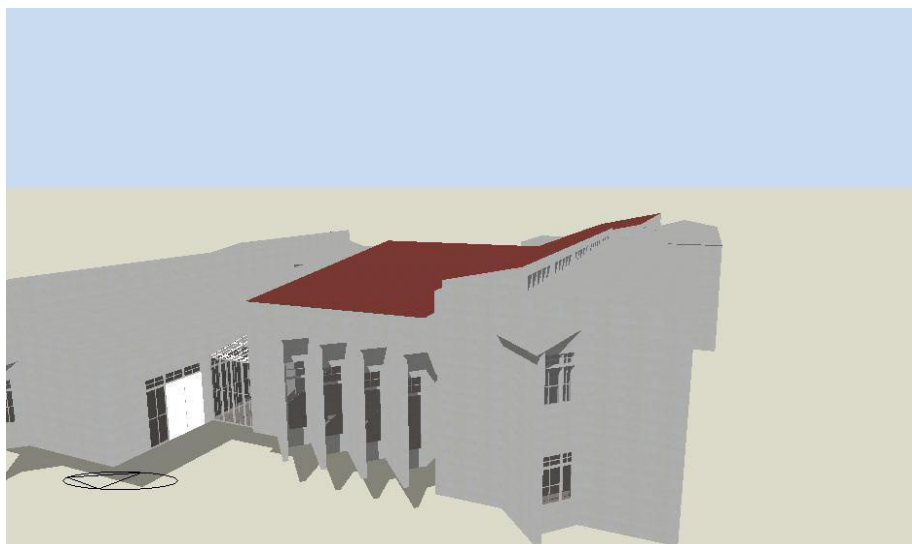


Figura 8 - Sombreamento observado no software de simulação térmica

#### **4.2.6 AVAC e AQS**

Uma vez que se pretende aferir o comportamento do edifício por si só, sem a influência de sistemas mecânicos, partiu-se do pressuposto de que toda a eletricidade consumida provém da rede. Além disso, uma vez que a análise feita compara dois modelos, a aplicação de iguais sistemas mecânicos em ambos anula-se, pelo que é desnecessária. Pela mesma razão não foram considerados quaisquer sistemas de AQS.

### 4.3 Soluções construtivas e ocupacionais do Modelo de Referência

Como mencionado anteriormente, uma vez descrito o Modelo Real de utilização do edifício, procedeu-se ao estudo das suas características, quer construtivas quer de utilização, baseadas num modelo de referência. Os padrões utilizados para cada parâmetro de atividade, iluminação, construção e AVAC encontram-se descritos nos parágrafos que se seguem.

#### 4.3.1 Atividade

Relativamente à atividade utilizou-se o padrão construído para o Modelo Real, baseado em valores do RSECE e do Ashrae. Assim, os valores referentes à densidade de ocupação, carga dos equipamentos e caudal mínimo de ar novo para cada tipo de divisão são os descritos na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

#### 4.3.2 Iluminação

O perfil de iluminação utilizado no Modelo de Referência é o mesmo do Modelo Real, pelo que os valores de iluminância e potência de iluminação não se alteram. Tal justifica-se mais uma vez pelo fato de estes serem parâmetros presumidos e que, por essa mesma razão, devem manter-se iguais nos dois modelos de forma a evitar discrepâncias. Retirados da EN 12464 e do RSECE, estes dados podem ser consultados na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

#### 4.3.3 Elementos construtivos

No que respeita às soluções construtivas o Modelo de Referência diverge do Modelo Real uma vez que os dados acerca das dimensões dos materiais descritos nas plantas são substituídos pelos valores de referência definidos pelo RSECE, valores esses que se apresentam de forma resumida na Tabela 8. Esta substituição aplica-se tanto aos elementos opacos exteriores como aos opacos interiores e envidraçados.

Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica de referência por zona climática

		Zona Climática			
		I1	I2	I3	RA
$U_{ref}$	<b>Elementos opacos verticais exteriores ou interiores</b>	0,7	0,6	0,5	1,4
	<b>Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores</b>	0,5	0,45	0,4	0,8
	<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	4,3	3,3	3,3	4,3

Relativamente aos elementos opacos, uma vez conhecidos os coeficientes de transmissão térmica pretendidos para cada elemento, fez-se o cálculo da espessura do isolamento necessária para a obtenção desse valor mantendo o número de camadas e respetivos materiais. Procedeu-se então à alteração dessa espessura no *software*. No presente caso de estudo, uma vez que a zona climática de Inverno é I2, os valores de U pretendidos são de 0,6 W/m<sup>2</sup>.K para os elementos opacos verticais (paredes) e de 0,45 W/m<sup>2</sup>.K para os elementos opacos horizontais (coberturas). Na Tabela 9 podem observar-se as características construtivas destes novos elementos térmicos. Apenas foram definidos com estes novos valores de U a parede exterior A e a cobertura inclinada A uma vez que as restantes têm uma área muito reduzida que as torna insignificativas.

Tabela 9 - Características dos elementos construtivos do Modelo de Referência

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.K]	R [m <sup>2</sup> .K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [J/kg.K]	U-value [W/m <sup>2</sup> .K]
<b>Parede exterior A</b>	Reboco exterior	0,015	1,150	0,013	1800,0	0,290	0,60
	Tijolo furado 15cm	0,150	0,385	0,390	840,0	0,230	
	Poliestireno expandido	0,028	0,037	1,081	30,0	0,350	
	Tijolo furado 7cm	0,070	0,368	0,190	942,9	0,230	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,0	0,290	
<b>Cobertura inclinada A</b>	Telha cerâmica	0,060	0,600	0,100	1500,0	0,260	0,45
	Espaço não ventilado	0,050	0,455	0,110	-	0,279	
	Betonilha armada	0,050	0,700	0,071	1300,0	0,278	
	Poliuretano extrudido	0,065	0,040	1,000	50,0	0,330	
	Lage	0,150	1,650	0,091	2300,0	0,270	
	Reboco interior	0,015	1,150	0,013	1800,0	0,290	

Quanto aos vãos envidraçados exteriores definidos no Modelo de Referência, estes são completamente distintos dos definidos no modelo original. Uma vez conhecidos os valores definidos nas tabelas 8 e 10 “criou-se” no software um novo tipo de vidro com as características pretendidas.

Tabela 10 - Fatores solares de referência por zona climática

	Zona climática		
	V1	V2	V3
<b>Fator solar do vão</b>	0,25	0,20	0,15

Extraem-se então das referidas tabelas os valores do coeficiente de transmissão térmica de  $3,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e do fator solar de 0,2.

Além da composição dos vidros, também as suas dimensões e localização foram alteradas. Uma vez que se pretende uma área total dos vãos envidraçados de 30%, percentagem definida como referência, igualmente distribuídos em todas as orientações, retiraram-se todos os vãos desenhados no Modelo Real e impôs-se aquele valor percentual, desenhado automaticamente pelo *DesignBuilder*.

#### **4.3.4 Sombreamentos**

Nas condições de referência não são considerados quaisquer sombreamentos móveis, sejam eles exteriores ou interiores, pelo que apenas se mantêm as palas fixas das janelas a sudoeste.

#### **4.3.5 AVAC e AQS**

Todos os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado são iguais aos definidos no Modelo Real. Uma vez que, como explicado anteriormente, se pretende analisar apenas o desempenho do edifício em termos das suas características construtivas, as considerações relativas ao AVAC e AQS são iguais nos dois modelos.



## 5. Resultados

Uma vez definidos todos os parâmetros descritos para cada modelo, procedeu-se à simulação dinâmica dos mesmos, separadamente. Como referido anteriormente o *software EnergyPlus* permite a obtenção de resultados relativos aos mais variados parâmetros de consumos e ganhos energéticos. A Tabela 11 apresenta de forma resumida os parâmetros selecionados para o presente caso de estudo.

Tabela 11 - Parâmetros de consumos e ganhos térmicos analisados

<b>Temperatura do ar [°C]</b>	Temperatura média do ar
<b>Temperatura radiante [°C]</b>	Temperatura média à superfície dos elementos envolventes do espaço
<b>Temperatura operativa [°C]</b>	Média das temperaturas do ar e radiante
<b>Ganhos de Iluminação [kWh]</b>	Ganhos relativos ao calor produzido pelas lâmpadas
<b>Ganhos de Computadores + Equipamentos [kWh]</b>	Ganhos relativos ao calor produzido pelos computadores e outros equipamentos informáticos
<b>Ganhos de Cozinha [kWh]</b>	Ganhos relativos ao calor produzido pelos equipamentos da cozinha e cafetaria
<b>Ganhos de Ocupação [kWh]</b>	Ganhos relativos ao calor proveniente dos ocupantes
<b>Ganhos solares exteriores [kWh]</b>	Radiação solar de onda curta transmitida para o interior através de janelas exteriores
<b>Gastos de Iluminação [kWh]</b>	Eletricidade consumida por todas as lâmpadas
<b>Gastos de Computadores+Equipamentos [kWh]</b>	Eletricidade consumida pelos computadores e outros equipamentos informáticos

<b>Arrefecimento total [kWh]</b>	Necessidades de arrefecimento suprimidas através de sistemas AVAC
<b>Aquecimento total [kWh]</b>	Necessidades de aquecimento suprimidas através de sistemas AVAC
<b>Ventilação mecânica + Infiltração [ac/h]</b>	Somatório do caudal de ar novo resultante da ventilação mecânica dos sistemas AVAC e infiltrações

## 5.1 Ganhos térmicos

Entende-se por ganhos térmicos toda energia sob a forma de calor proveniente das mais variadas fontes. No presente caso de estudo, os ganhos térmicos são o somatório do calor dissipado por computadores, outros equipamentos e iluminação e do calor derivado das atividades de cozinha, dos ocupantes e da radiação solar.

Deste modo, apresentam-se de seguida os dados relativos a cada um destes ganhos, numa comparação entre os modelos real e de referência sempre que tal se justificar.

### 5.1.1 Ganhos solares

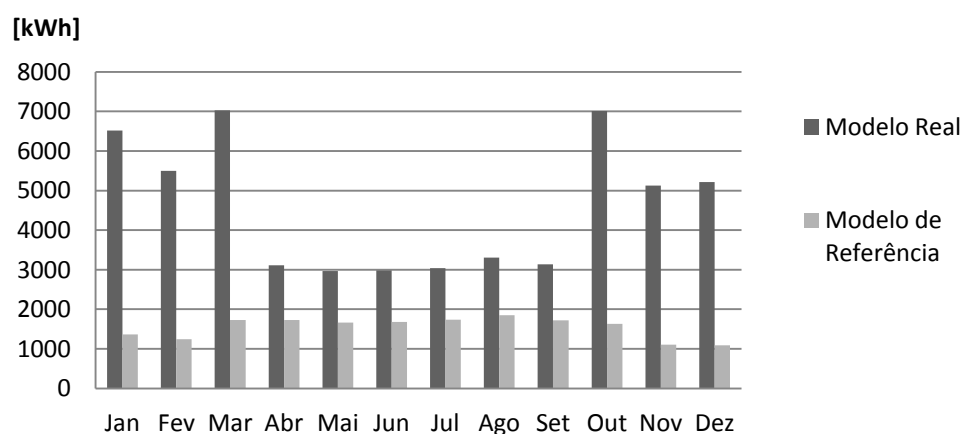


Figura 9 - Ganhos térmicos solares



Como se observa na Figura 9, os ganhos solares no modelo real são muito superiores aos do modelo de referência, apesar da área de vãos ser a mesma, e estarem distribuídos de forma mais inconstante ao longo dos vários meses do ano. Tal acontece devido ao fato de no Modelo de Referência os vãos estarem distribuídos igualmente por todas as fachadas, enquanto no Modelo Real estão maioritariamente orientados a sul. Significa isto que o benefício que se retira do aproveitamento dos ganhos solares no inverno no Modelo Real implica um aumento das necessidades de arrefecimento nos meses de verão. No entanto, como se observa no gráfico acima, o fato de terem sido aplicados dispositivos de sombreamento exteriores a sul nos meses de verão faz com que os ganhos solares do Modelo Real se aproximem mais dos do Modelo de Referência neste período.

### 5.1.2 Iluminação

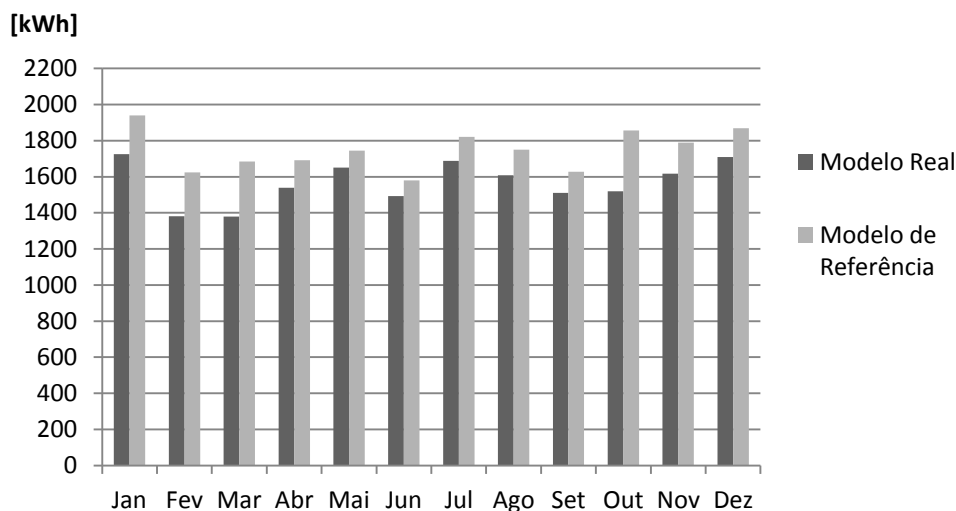


Figura 10 - Ganhos térmicos devidos à iluminação

Os ganhos térmicos provenientes da utilização de lâmpadas apresentam valores idênticos para ambos os modelos. No entanto, notam-se um pouco superiores no Modelo de Referência devido ao fato dos ganhos por radiação solar serem menores neste modelo e, por isso, ser necessária uma maior utilização de iluminação artificial.

### 5.1.3 Outros

No que respeita aos ganhos térmicos relativos à cozinha, computadores, equipamentos elétricos e ocupação não faz sentido a realização de uma análise mensal visto que o calor produzido por estes dispositivos e atividades é praticamente constante ao longo de todo o ano. Além disso, os valores destes ganhos são praticamente iguais em ambos os modelos, variando em apenas 2,5%, uma vez que dependem maioritariamente do seu próprio desempenho e não das características construtivas do edifício como um todo. Na Tabela 12 apresentam-se os seus valores anuais para cada modelo que, logicamente, são muito idênticos em ambos.

Tabela 12 - Outros ganhos térmicos

	Ganhos térmicos anuais [kWh]	
	Modelo Real	Modelo de Referência
Cozinha	8597,67	7829,25
Computadores+Equipamentos	25220,65	26455,92
Ocupação	28502,6	29634,03

Justifica-se agora uma análise do somatório anual de todos os ganhos térmicos para cada modelo.

### 5.1.4 Ganhos térmicos totais do Modelo Real

Com a observação da Figura 11, expresso em termos percentuais, é de mais fácil percepção o significado de cada parâmetro em termos gerais.

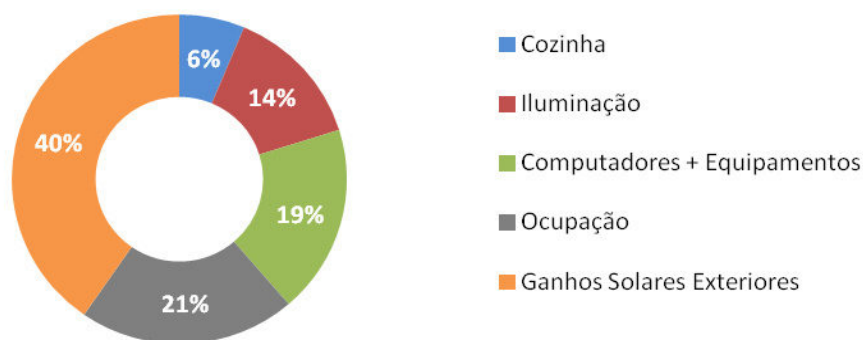


Figura 11 - Ganhos térmicos totais do Modelo Real

Verifica-se que quase metade dos ganhos térmicos resultam da radiação solar coletada pelo edifício. A segunda maior parcela diz respeito ao calor proveniente dos ocupantes, ou seja, à atividade exercida pelos mesmos anteriormente descrita. Logo de seguida surgem os ganhos derivados dos equipamentos informáticos e da iluminação e, por fim, os ganhos provenientes das atividades de cozinha que, devido ao tipo de uso, representam uma tranche logicamente mais pequena que as restantes.

#### 5.1.5 Ganhos térmicos totais do Modelo de Referência

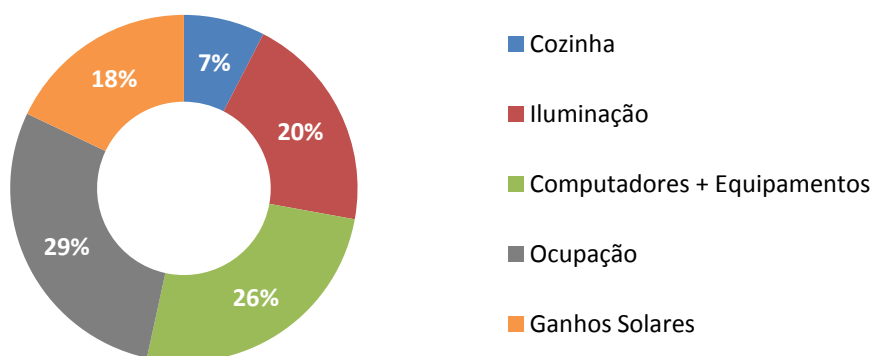


Figura 12 - Ganhos térmicos totais do Modelo de Referência

Ao contrário do que acontece no modelo real, no modelo de referência os maiores ganhos térmicos não são os solares, uma vez que estes representam apenas 18% do total. Tal fato explica-se pelo fato do fator solar das janelas de referência ser bastante inferior ao das janelas do modelo real (0,2 contra 0,7 respetivamente) e pela orientação das mesmas estar igualmente distribuída por todas as orientações. A maior percentagem de calor deve-se à atividade dos ocupantes, seguida dos equipamentos informáticos e da iluminação. Por último, observa-se que o calor proveniente das atividades de cozinha é superior em termos percentuais, apesar de não o ser em valor absoluto.

Quer seja para maximizar ou minimizar os ganhos térmicos, consoante surge a estação de aquecimento ou de arrefecimento, respetivamente, quer seja para aumentar as condições de bem-estar, o elevado consumo de eletricidade em edifícios de serviços é, regra geral,

uma realidade. Além disso, uma observação do consumo de energia torna-se mais intuitiva e esclarecedora do que uma observação dos ganhos térmicos, talvez pelo fato de a fatura elétrica de um edifício ser sempre mais preponderante à vista que o desempenho energético dos seus equipamentos.

Deste modo, os capítulos seguintes incidirão numa análise aos consumos elétricos do edifício em estudo.

## 5.2 Indicadores de Desempenho Energético

De forma a caracterizar o presente edifício através de uma relação comparativa entre os dois modelos foram definidos três indicadores de desempenho energético (IDE) cujos significados e metodologias serão explicitados de seguida. Um IDE é um valor que reflete o nível de eficiência que se verifica num determinado edifício através da medição da quantidade de energia que este utiliza por cada metro quadrado e no período de um ano. A sua definição é similar ao índice de eficiência energética (IEE) utilizado no âmbito do Sistema de Certificação Energética mas tendo apenas em conta a envolvente do edifício, excluindo os seus equipamentos de AVAC. Optou-se pela utilização do IDE ao invés do IEE por, como referido anteriormente, não se pretender analisar o edifício para além das suas características construtivas. Desta forma, é mais coerente ignorar quaisquer sistemas de aquecimento ou arrefecimento ativos que pudessem auxiliar as estratégias passivas. Assim, ao contrário do que acontece com o IEE em que é possível posicionar o desempenho energético do edifício numa escala qualitativa, com o indicador IDE o que se obtém é um valor que representa a razão entre o modelo real e o modelo de referência, ou seja, é calculada uma percentagem que representa o quão melhor ou pior é o modelo real comparativamente ao modelo de referência descrito na legislação portuguesa. A esta razão foi dado o nome de  $R_{IDE}$ .

Uma vez que os consumos considerados nestes indicadores, real e de referência, são de natureza distinta, optou-se por considerar três diferentes indicadores: IDE de aquecimento ( $IDE_{\text{aquecimento}}$ ), IDE de arrefecimento ( $IDE_{\text{arrefecimento}}$ ) e IDE de iluminação ( $IDE_{\text{iluminação}}$ ). Os consumos referentes a computadores e outros equipamentos não foram analisados uma vez que são iguais para os dois modelos.

Apresenta-se de seguida a metodologia de cálculo utilizada e consequentes resultados do presente caso de estudo.

$$R_{IDE,k} = \frac{IDE_{k,real}}{IDE_{k,ref}} \quad (2)$$

Onde:

k - tipo de consumo: aquecimento, arrefecimento ou iluminação

IDE<sub>k,real</sub> – indicador de desempenho energético do modelo real

IDE<sub>k,ref</sub> – indicador de desempenho energético do modelo de referência

Apresenta-se de seguida a fórmula de cálculo do IDE, que é idêntica para os três indicadores.

Esta fórmula pode ser utilizada para os dados resultantes de ambos os modelos.

$$IDE_k = \frac{1}{A_p} \sum_i E_{fi} \times F_{pu} \quad [\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (3)$$

Onde:

k – tipo de

consumo:

aquecimento, arrefecimento ou iluminação

i – variável representativa do tipo de fonte de energia

A<sub>p</sub> – área total do pavimento em m<sup>2</sup>

E<sub>f</sub> – consumo médio anual de energia utilizada por fonte de energia i em kWh

F<sub>pu</sub> – fator de conversão para energia primária em kWh<sub>ep</sub>/kWh

De acordo com o RCCTE, os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação do indicador de eficiência energética de edifícios de serviços são:

- a) F<sub>pu</sub> = 2,5 kWh<sub>ep</sub>/kWh para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);
- b) F<sub>pu</sub> = 1 kWh<sub>ep</sub>/kWh para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis.

Como referido anteriormente, toda a eletricidade utilizada no edifício em estudo provém da rede e não existem quaisquer processos de combustão auxiliares pelo que o fator de conversão utilizado é o de 2,5 kWh<sub>ep</sub>/kWh para os três indicadores de desempenho energético.

Nos subcapítulos seguintes é feita uma análise aos resultados de ambas as simulações, real e de referência, de acordo com os indicadores mencionados. De notar que em parâmetros como o aquecimento, o arrefecimento e a iluminação uma análise anual não é suficientemente detalhada no âmbito deste trabalho, pois não permite diferenciar as duas estações em questão (aquecimento e arrefecimento).

### 5.2.1 Aquecimento

Na Figura 13 podem observar-se os valores relativos aos consumos elétricos devidos ao aquecimento, em termos mensais. De notar que não se consideraram sistemas para aquecimento nos meses de Junho a Setembro.

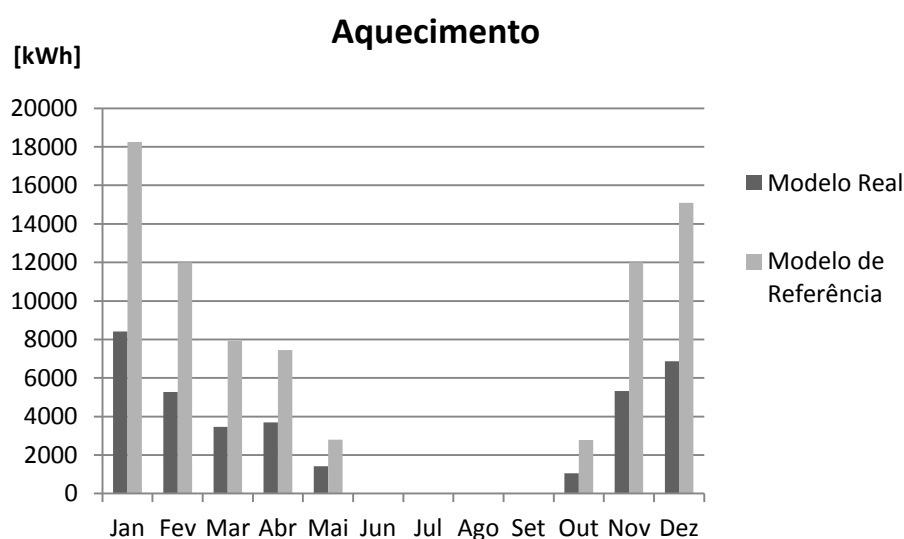


Figura 13 - Consumos elétricos devidos ao aquecimento

Como consequência de ganhos solares muito superiores, devido à orientação a sul dos vãos envidraçados, as necessidades de aquecimento no modelo real são cerca de metade das do

modelo de referência. Os grandes picos desta necessidade são, em ambos os modelos, relativos aos meses de Dezembro e Janeiro não apenas por serem meses de menores ganhos solares mas essencialmente porque as temperaturas médias exteriores neste período são aproximadamente 10°C.

De forma a ter-se uma melhor perceção do que este consumo significa utiliza-se o  $IDE_{\text{aquecimento}}$  para que seja possível estabelecer uma relação entre os perfis de aquecimento de ambos os modelos. Na Tabela 13 pode observar-se o valor deste indicador de desempenho energético bem como os parâmetros que permitiram o seu cálculo.

Tabela 13 - Dados de cálculo do  $IDE_{\text{aquecimento}}$ 

	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	$E_f$ [kWh/ano]	$F_{pu}$ [kWh <sub>ep</sub> /kWh]	$IDE_{\text{aquecimento}}$ [kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano]	$R_{\text{aquecimento}}$
<b>Real</b>	1341	35527,36	2,5	66,23	0,45
<b>Referência</b>	1341	78329,43	2,5	146,03	

Verifica-se que o  $IDE_{\text{aquecimento}}$  é mais do dobro no Modelo de Referência do que no Modelo Real, fato que se deve essencialmente à existência de maiores ganhos solares neste segundo modelo. Consequentemente, o  $R_{\text{aquecimento}}$  calculado é de 0,45, o que significa que a energia consumida para aquecimento no edifício real é aproximadamente 45% da que seria consumida se o edifício adotasse o Modelo de Referência, o que representa uma poupança energética no período de inverno de cerca de 55%.

### 5.2.2 Arrefecimento

Na figura 14 são apresentados os valores relativos aos consumos elétricos devidos ao arrefecimento do edifício.

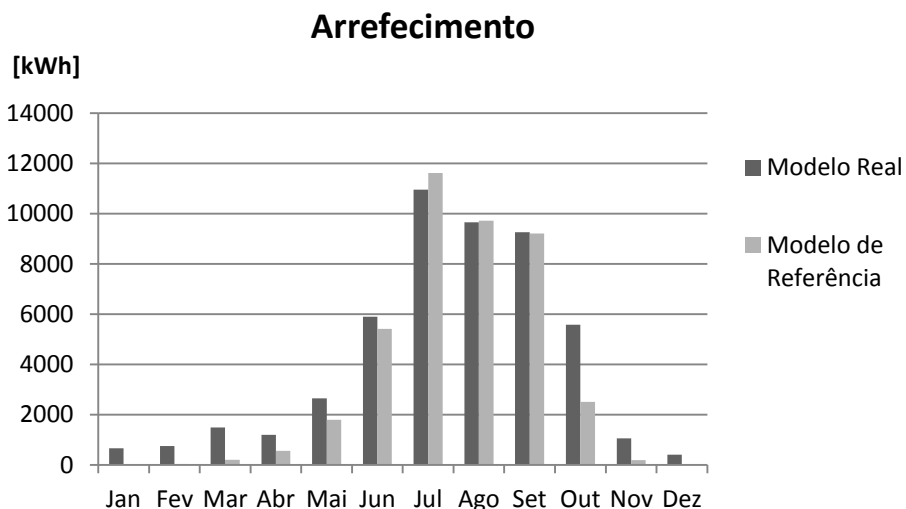


Figura 14 - Consumos elétricos devidos ao arrefecimento

Os valores de consumos energéticos devidos ao arrefecimento são muito similares nos dois modelos. Nos meses de inverno, estas necessidades são superiores no Modelo Real, fato justificável devido a possíveis situações de sobreaquecimento nos espaços orientados a sul. Por sua vez, o fato de, nos meses de verão, as necessidades de arrefecimento serem superiores no Modelo de Referência pode justificar-se pela inexistência de proteções que diminuam a entrada de radiação através dos vãos envidraçados.

Procede-se agora ao cálculo do  $IDE_{\text{arrefecimento}}$  dos modelos Real e de Referência bem como da razão entre ambos. Nesta altura não importa considerar o rendimento dos equipamentos uma vez que se utilizaram os mesmos sistemas AVAC nos dois modelos.

Tabela 14 - Dados de cálculo do  $IDE_{\text{arrefecimento}}$ 

	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	$E_f$ [kWh/ano]	$F_{pu}$ [kWh <sub>ep</sub> /kWh]	$IDE_{\text{arrefecimento}}$ [kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano]	$R_{\text{arrefecimento}}$
<b>Real</b>	1341	49582,90	2,5	92,40	1,20
<b>Referência</b>	1341	41287,13	2,5	76,97	

Observa-se na tabela que o  $IDE_{\text{arrefecimento}}$  é maior no Modelo Real do que no Modelo de Referência, num rácio que se apresenta igual a 1,20. Significa isto que o consumo de eletricidade devida ao arrefecimento no Modelo Real é 20% mais elevado do que se este



tivesse sido construído de acordo com as condições de referência. Tal fato é facilmente justificado quer pela distribuição dos vãos quer pelo seu fator solar neste modelo.

### 5.2.3 Iluminação

Relativamente ao consumo elétrico devido à iluminação, este apresenta-se igual aos ganhos térmicos desta natureza, isto porque toda a radiação proveniente de uma lâmpada, seja ou não visível, é desperdiçada sob a forma de calor.

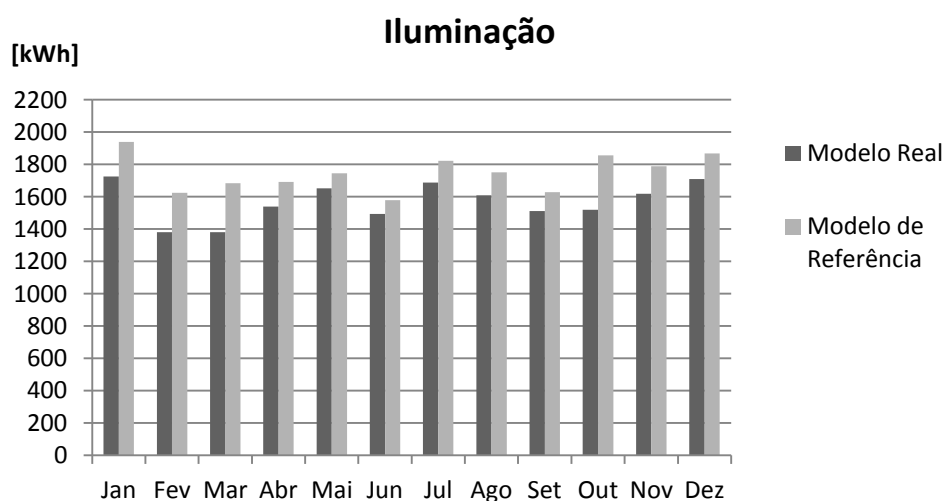


Figura 15 - Consumos elétricos devidos à iluminação

Como se observa no gráfico acima, as necessidades de iluminação do Modelo de Referência são maiores que as do Modelo Real. Tal pode justificar-se pelo fato de o fator solar dos vidros ser menor neste primeiro modelo o que, como referido anteriormente, resulta numa menor entrada de radiação solar no edifício. Com o cálculo do  $IDE_{iluminação}$  é mais perceptível a relação entre ambos os modelos, cujos valores anuais se apresentam na Tabela 15.

Tabela 15 - Dados de cálculo do  $IDE_{iluminação}$

	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	$E_f$ [kWh/ano]	$F_{pu}$ [kWh <sub>ep</sub> /kWh]	$IDE_{iluminação}$ [kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano]	$R_{iluminação}$
<b>Real</b>	1341	18825,83	2,5	35,10	0,90
<b>Referência</b>	1341	20978,96	2,5	39,11	

Tem-se que o  $IDE_{iluminação}$  é maior para o Modelo de Referência do que para o Modelo Real, resultando num  $R_{iluminação}$  de 0,90. Deste modo, sabe-se que a utilização do modelo de referência descrito no RSECE para o presente caso de estudo penalizaria o consumo elétrico associado à iluminação.

#### 5.2.4 $IDE_{total}$

Analisados os consumos mensais devidos ao aquecimento, arrefecimento e iluminação, separadamente, surge agora a necessidade de uma análise anual que integre todos estes parâmetros e estabeleça uma relação ponderada entre eles. Antes de mais, é preciso ter presente que inicialmente os consumos foram apresentados de forma comparativa entre os dois modelos, pelo que o rendimento dos sistemas não era determinante.

Nesta fase, em que cada modelo será analisado individualmente, consideram-se então os rendimentos correspondentes a cada um dos sistemas. De acordo com a Proposta de Revisão Regulamentar de 2012 a eficiência de um sistema de aquecimento de referência é de 1 enquanto o EER de um sistema de arrefecimento de referência é de 2,7. Relativamente ao sistema de iluminação o rendimento ( $\eta$ ) apresenta-se igual a 1. Esta regra aplica-se sempre que não são conhecidos os sistemas de climatização de um edifício.

Desta forma, surgem novos valores de consumos mensais para ambos os modelos. Apresentam-se agora os consumos anuais calculados para cada modelo, de acordo com as ponderações descritas.

Tabela 16 - Consumos elétricos anuais

Consumos elétricos anuais [kWh]		
	Modelo Real	Modelo de Referência
<b>Iluminação</b>	18825,83	20978,92
<b>Computadores + Equipamentos</b>	33818,31	34280,92
<b>Aquecimento</b>	35527,36	78329,43
<b>Arrefecimento</b>	17708,16	14745,40

Além dos valores anuais apresentados na tabela, é importante fazer uma análise mensal destes novos consumos ponderados. Logicamente, apenas os consumos elétricos devidos ao arrefecimento se alteram. No entanto, justifica-se a apresentação das figuras Figura 16 e Figura 17 para perceber qual a influência dos vários consumos elétricos nos dois modelos.

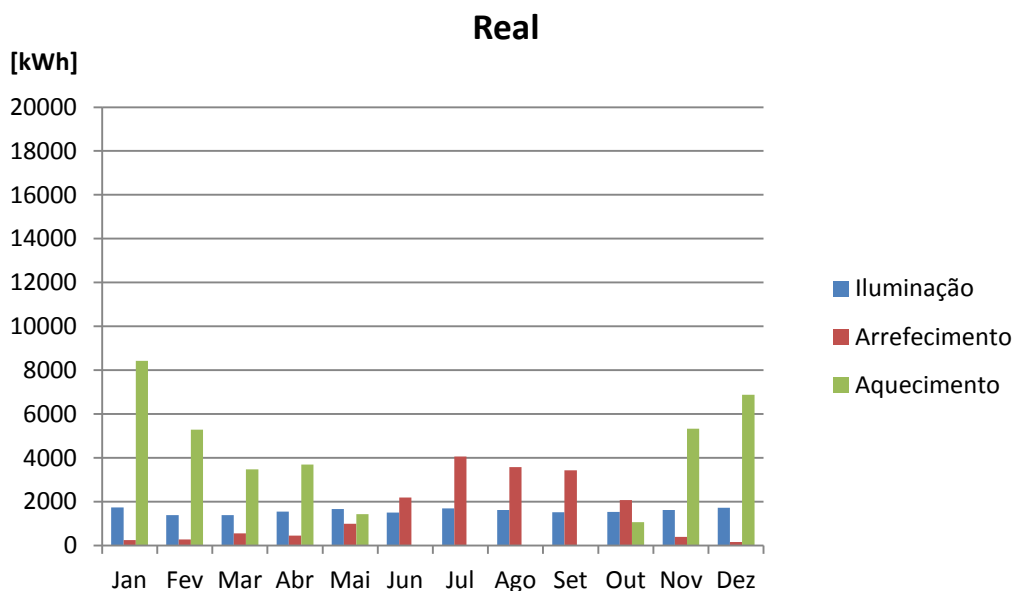


Figura 16 - Consumos elétricos mensais para o Modelo Real

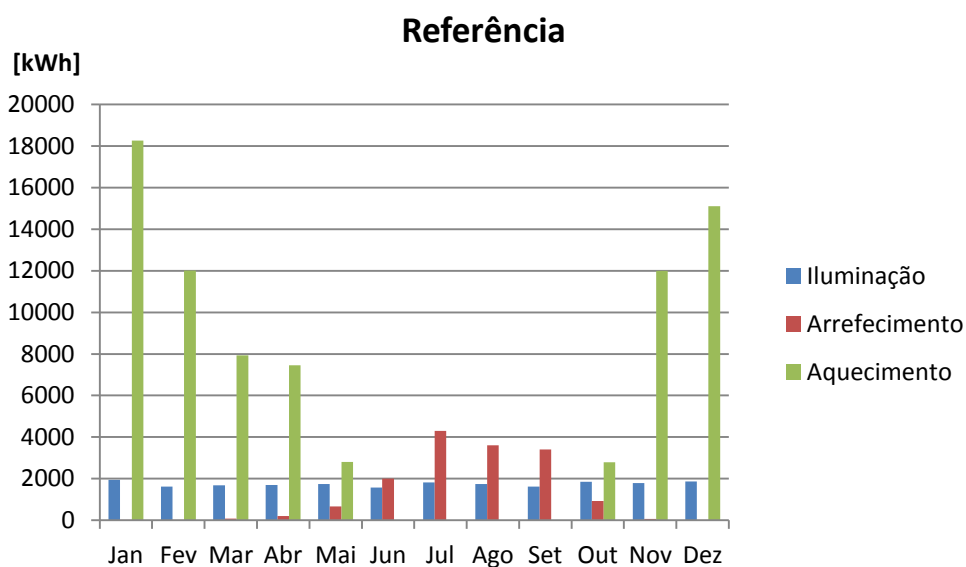


Figura 17 - Consumos elétricos mensais para o Modelo de Referência

A alteração mais notável resultante da aplicação dos rendimentos dos vários sistemas de aquecimento, arrefecimento e iluminação é uma redução no consumo elétrico devida ao arrefecimento em 30% para ambos os modelos.

Além disso, com uma análise isolada do Modelo Real, observa-se que o maior consumo elétrico se deve agora ao aquecimento e não ao arrefecimento. O máximo de consumo elétrico na estação de aquecimento chega mesmo a ser o dobro do máximo consumo elétrico na estação de arrefecimento.

Relativamente ao Modelo de Referência, o consumo elétrico devido ao arrefecimento também é menor, o que provoca uma enorme discrepância entre este e o consumo elétrico devido ao aquecimento, tanto mais que o Modelo de Referência penaliza o período de aquecimento devido a uma menor área de vãos orientados a sul.

Não menos importante, e fazendo uma análise entre os dois modelos, é evidente o fato de o consumo elétrico devido ao aquecimento no Modelo de Referência ser aproximadamente o dobro do consumo do mesmo sistema no Modelo Real.

Estes dados apresentam-se agora sob forma percentual. Nesta análise, o consumo devido aos computadores e outros equipamentos também foi considerado uma vez que se pretende compreender a influência de cada uma das parcelas no consumo elétrico total.

### Consumos elétricos - Modelo Real

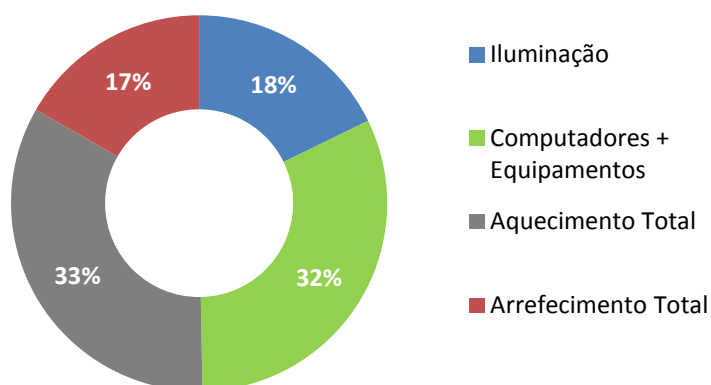


Figura 18 - Consumos elétricos do Modelo Real sob forma percentual

Observa-se que no Modelo Real os maiores consumos elétricos se devem aos sistemas de aquecimento e aos computadores e outros equipamentos utilizados. Por sua vez, o sistema que consome menos energia elétrica é o de arrefecimento.

### Consumos elétricos - Modelo de Referência

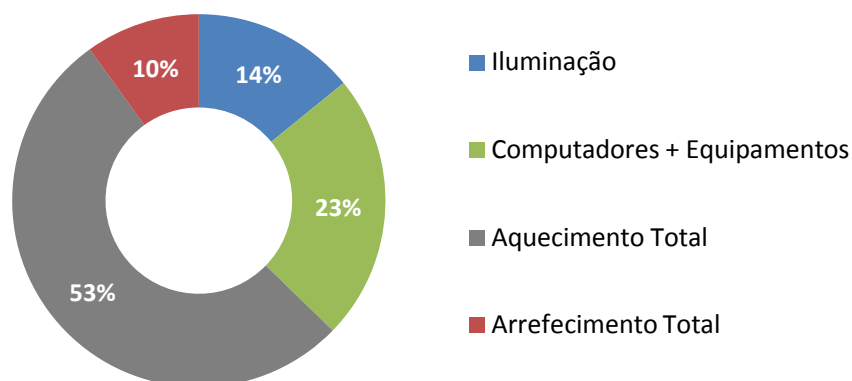


Figura 19 - Consumos elétricos do Modelo de Referência sob forma percentual

Sendo as necessidades de aquecimento do Modelo de Referência aproximadamente o dobro das do Modelo Real, logicamente esta diferença se nota aquando da observação do gráfico acima. No modelo agora analisado, os consumos elétricos devidos ao aquecimento representam 53% do consumo elétrico total do edifício. Com uma percentagem de apenas 10% neste consumo total surgem os consumos relativos ao arrefecimento. Repara-se com este valor que o EER de 2,7 dos equipamentos de arrefecimento representa uma diferença significativa, de aproximadamente 26540 kWh, entre as necessidades de arrefecimento e o consumo elétrico que lhes corresponde.

Fazendo uma apreciação geral, verifica-se então que a maior parte do consumo se deve ao aquecimento, seguido dos computadores e outros equipamentos e iluminação. Por último, com a menor parcela de consumos elétricos, surgem os sistemas de arrefecimento. Esta sequência verifica-se em ambos os modelos.

De acordo com esta nova análise surge então um novo indicador,  $IDE_{total}$ , que é aplicável a qualquer dos modelos e que se calcula segundo a equação 4. Não se considera o consumo relativo a computadores e outros equipamentos por ser idêntica em ambos os modelos.

$$IDE_{total} = \frac{IDE_{aquecimento}}{COP} + \frac{IDE_{arrefecimento}}{EER} + \frac{IDE_{iluminação}}{\eta} \quad (4)$$

Procedendo aos devidos cálculos através da equação apresentada, obtém-se um  $IDE_{total}$  igual a 137,57 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano para o Modelo Real e 213,65 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano para o Modelo de Referência, o que se traduz num  $R_{total}$  de 0,63. Significa isto que, com a adoção do Modelo Real ao invés do Modelo de Referência, o consumo elétrico do edifício é 37% menor. De modo geral, tem-se que o fato de o arquiteto ter tirado partido da localização e respetivas condições climatéricas, aliando-as a uma construção devidamente pensada e adaptada, trouxe ao edifício e aos seus utilizadores condições de maior conforto e menores dispêndio de energia.

## 6. Variações paramétricas

Na arquitetura solar passiva, existem algumas estratégias que, apesar de simples, muitas vezes conduzem a grandes reduções dos consumos de energia. São exemplos destas estratégias, entre outras, uma correta e precisa orientação do edifício, um estudo aprofundado das propriedades e áreas dos vãos, a colocação de dispositivos de sombreamento fixos ou móveis e a espessura do isolamento. Nos parágrafos que se seguem foi feita uma breve análise acerca da variabilidade destes parâmetros e da sua influência nas necessidades de conforto térmico. Assim, todos os aspetos cujos resultados se apresentam são apenas soluções alternativas à construção original (Modelo Real). Com esta análise pretendeu-se avaliar o impacto que estas teriam caso o edifício não tivesse sido projetado tendo especial consideração ao aproveitamento solar passivo ou se além das estratégias aplicadas tivessem sido executadas outras estratégias alternativas. Também nestas análises se desconsiderou o uso de sistemas de aquecimento no período de verão.

### 6.1.1 Com ventilação noturna

Uma vez que a ventilação noturna apenas foi definida para os meses de Abril a Setembro, período de verão do ficheiro de dados climáticos, não faz sentido apresentar valores relativos às necessidades de aquecimento, tanto mais que é uma estratégia passiva a ser utilizadas nos meses de verão, aproveitando a descida de temperatura exterior. Deste modo, determinou-se ventilação natural das 21h às 7h30 com uma taxa de 2 renovações por hora.

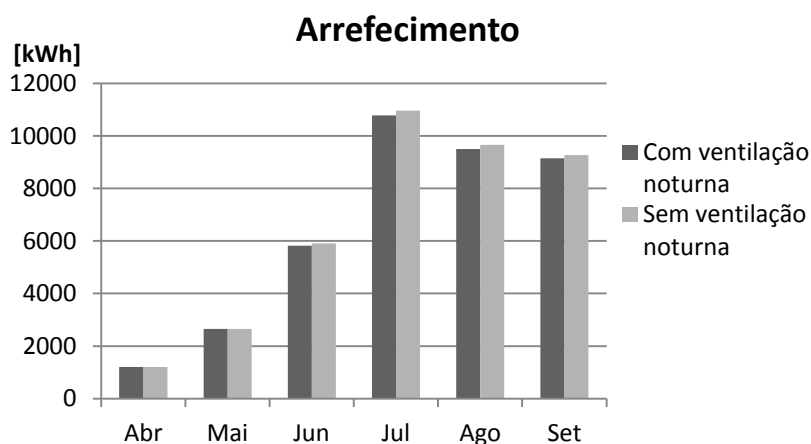


Figura 20 - Necessidades de arrefecimento com e sem ventilação noturna (Modelo Real)

Como pode observar-se na Figura 20 a aplicação de ventilação noturna provocaria uma diminuição, mesmo se reduzida, das necessidades de arrefecimento dos espaços.

### 6.1.2 Duplicação da espessura do isolamento térmico nas paredes

Com o intuito de compreender qual a influência do isolamento térmico nas paredes do edifício simulou-se um aumento da sua espessura para o dobro. Assim, a camada utilizada de poliestireno expandido nas paredes verticais passou a ser de 8cm.

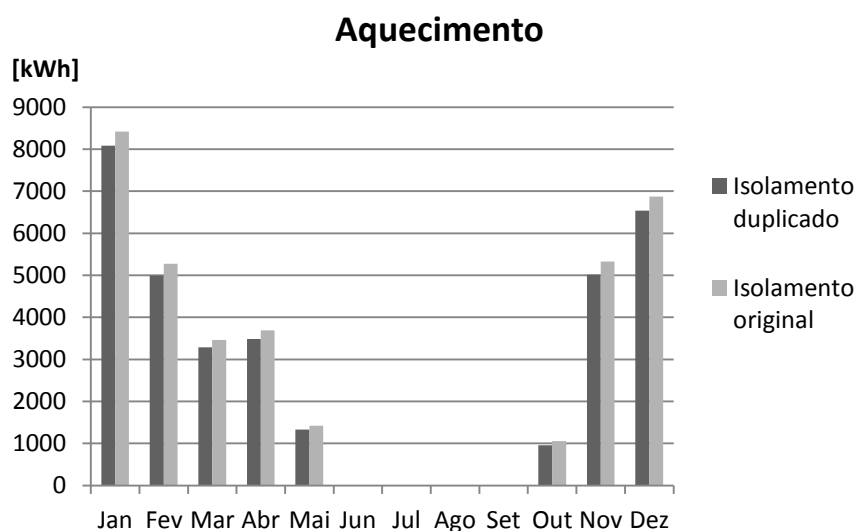


Figura 21 - Necessidades de aquecimento variando a espessura do isolamento (Modelo Real)

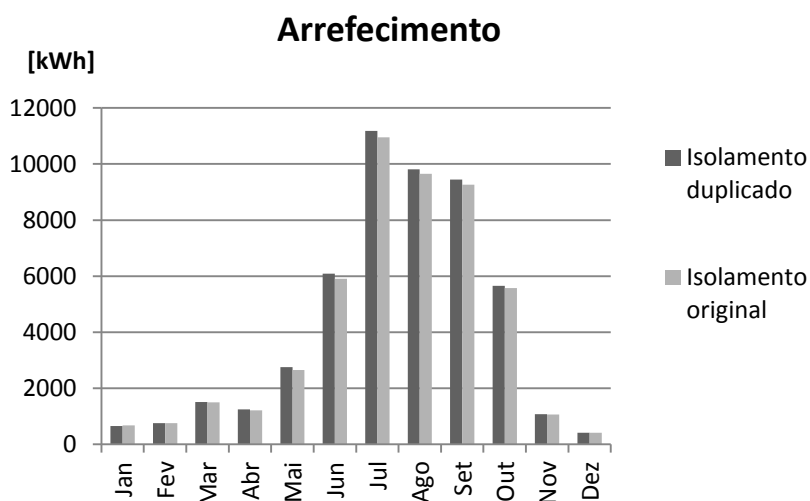


Figura 22 - Necessidades de arrefecimento variando a espessura do isolamento (Modelo Real)



Através da análise das figuras 21 e 22 conclui-se que um aumento da espessura do isolamento seria benéfico no período de aquecimento mas prejudicial no período de arrefecimento. Assim sendo, não faria sentido duplicar a espessura de isolamento térmico face à inicialmente adotada.

### 6.1.3 Variação da orientação

Na Figura 23 pode observar-se como seriam as necessidades térmicas do edifício caso este sofresse uma rotação de  $+45^\circ$ , ou seja, caso aquela que é originalmente a fachada sul estivesse orientada a sudoeste.

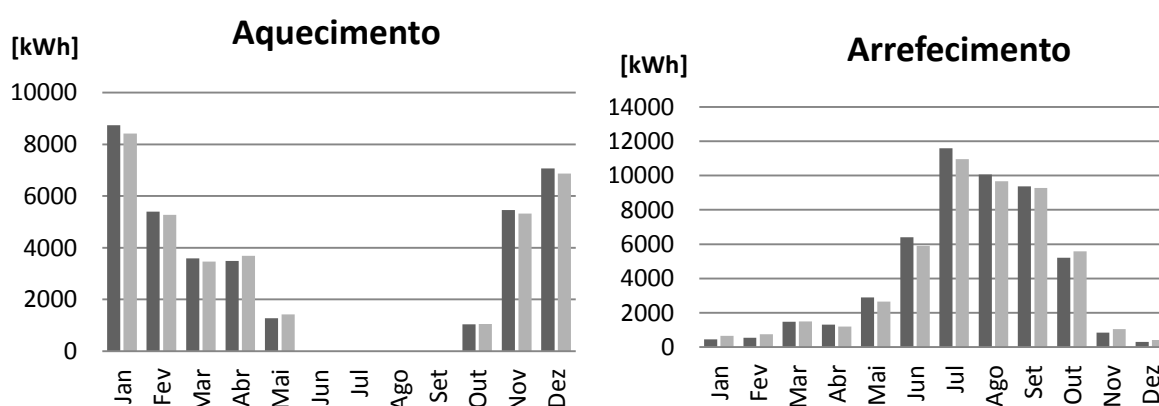


Figura 23 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a  $45^\circ$  (Modelo Real)

Verifica-se que tanto as necessidades de aquecimento como as de arrefecimento seriam superiores às obtidas com o Modelo Real na orientação sul.

Por sua vez, na Figura 24 pode fazer-se a mesma análise mas para uma rotação de  $+90^\circ$ , ou seja, caso a fachada originalmente a sul fosse orientada a oeste.

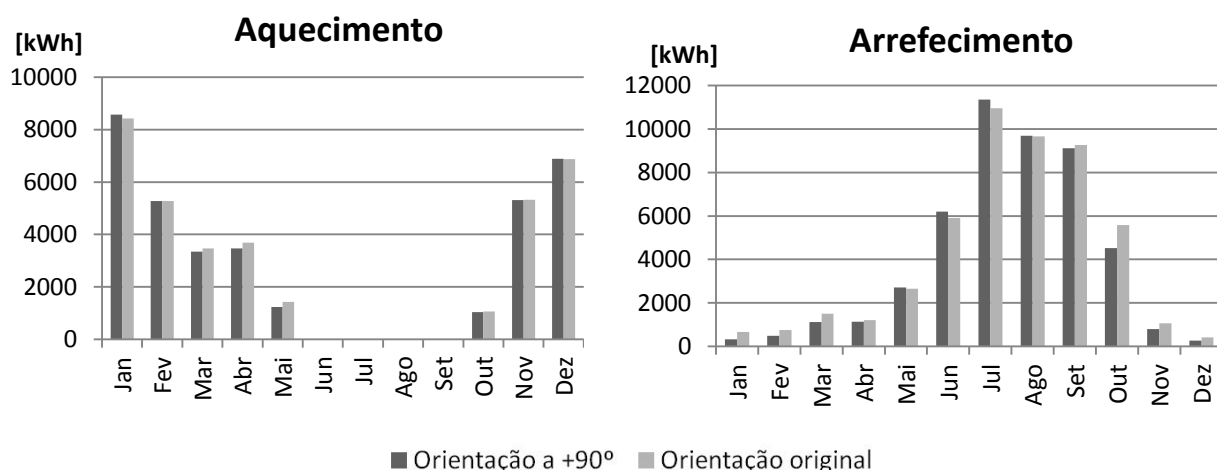


Figura 24 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a 90° (Modelo Real)

Mais uma vez tem-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento aumentariam.

De seguida observam-se as alterações que traria uma rotação de -45°, ou seja, caso a fachada originalmente a sul estivesse orientada a sudeste.

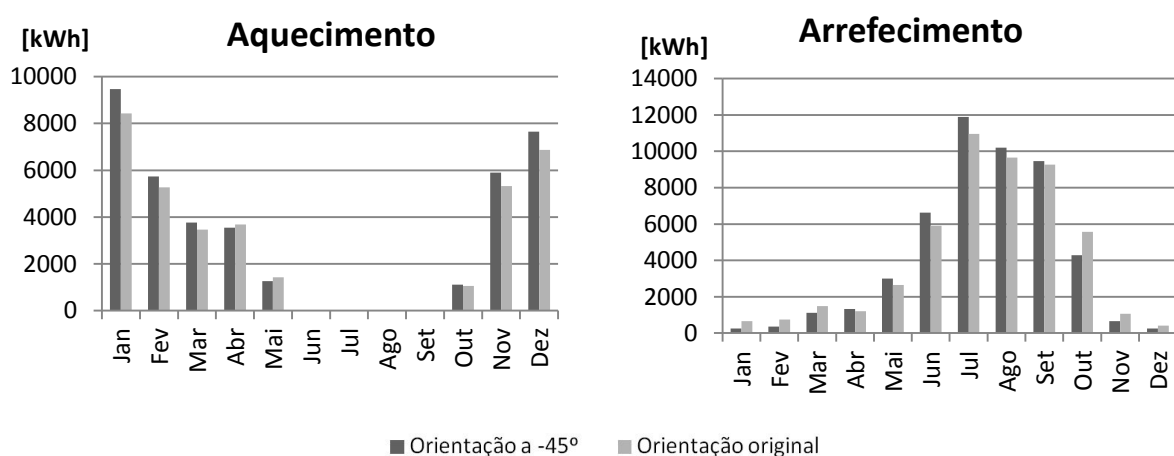


Figura 25 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a -45° (Modelo Real)

Tem-se então que esta orientação seria praticamente indiferente em relação à original no que refere à estação de aquecimento e prejudicial na estação de arrefecimento.

Por último, simulou-se uma situação em que o edifício sofreria uma rotação de  $-90^\circ$ , ou seja, a sua fachada sul passaria a situar-se a este. Na Figura 26 apresentam-se os respetivos resultados.

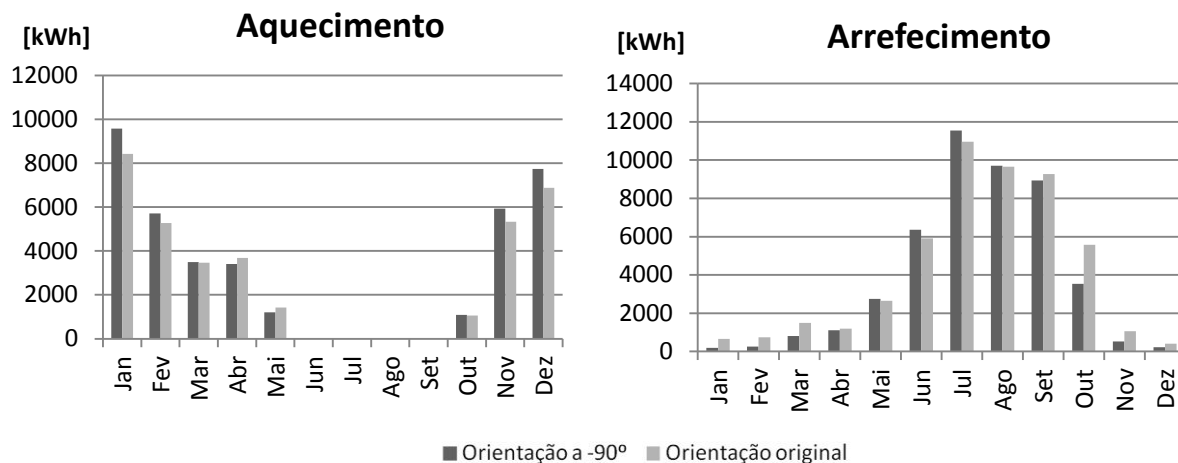


Figura 26 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento com orientação a  $-90^\circ$  (Modelo Real)

Mais uma vez se observa que a alteração da orientação do edifício seria prejudicial ao seu desempenho energético uma vez que aumentaria as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

De modo geral, conclui-se que a orientação original do edifício privilegiando o sul é, como expectável, benéfica para todas as estações. Tal fato não é casual pois, como referido anteriormente, um dos propósitos de um edifício solar passivo é a sua correta e precisa orientação, aspeto que se evidencia ter sido tido em conta pelo arquiteto.

#### 6.1.4 Sem vegetação

Como referido anteriormente, na realidade o edifício não utiliza a vegetação a sul descrita no projeto. Assim, pela Figura 27, pode ter-se uma perceção de qual seria o impacto que a aplicação da vegetação teria nas necessidades de arrefecimento do mesmo. Tal como seria expectável uma vez que a vegetação utilizada seria de folha caduca esta não influencia as necessidades de aquecimento do período de inverno.

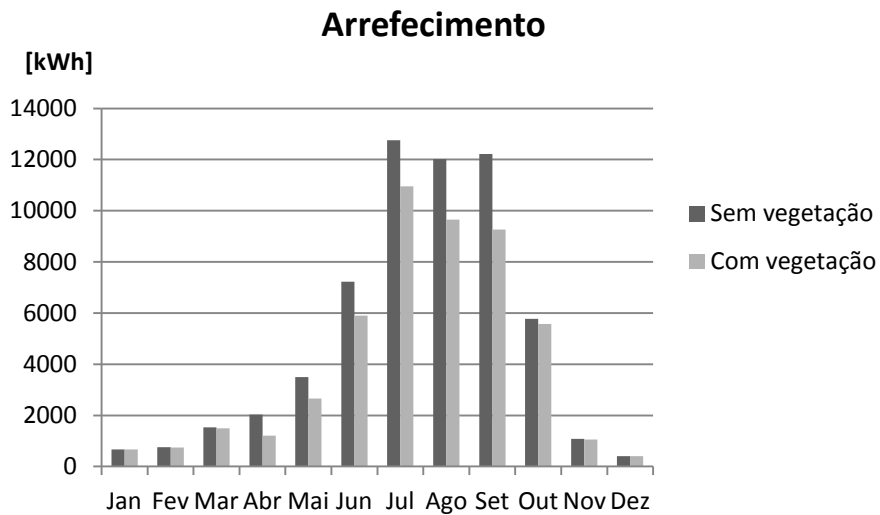


Figura 27 - Necessidades de arrefecimento com e sem vegetação na fachada sul

Observa-se então que a aplicação de vegetação a sul mostrar-se-ia benéfica, conduzindo a uma redução das necessidades de arrefecimento com um valor máximo de 2,7MWh para o mês de Setembro.

## 7. Análise crítica às condições de referência

Encarando de forma crítica os valores de referência descritos na legislação utilizada, surgem algumas dúvidas acerca do seu fundamento, ou seja, são por vezes pouco claros os ensaios e considerações utilizados para a sua definição. Assim, para uma melhor compreensão das condições de referência e da sua influência nas necessidades finais de aquecimento, arrefecimento e iluminação de um edifício, procedeu-se à criação de um novo modelo, denominado “Modelo Alternativo”. Este modelo utiliza a mesma área e distribuição de vãos envidraçados do Modelo de Referência e o fator solar e sombreamentos do Modelo Real. Isto é: consideraram-se vãos envidraçados distribuídos igualmente ao longo de todas as fachadas, ocupando 30% da área das mesmas, e definiu-se um fator solar de 0,7, ao qual são acrescidos todos os tipos de sombreamento utilizados no Modelo Real. Constituído este novo Modelo Alternativo procedeu-se à comparação do mesmo com ambos os modelos.

### 7.1 Modelo de Referência e Modelo Alternativo

Como referido anteriormente, procedeu-se à comparação dos modelos de Referência e Alternativo, cujas necessidades térmicas e de iluminação podem observar-se nas figuras 28, 29 e 30.

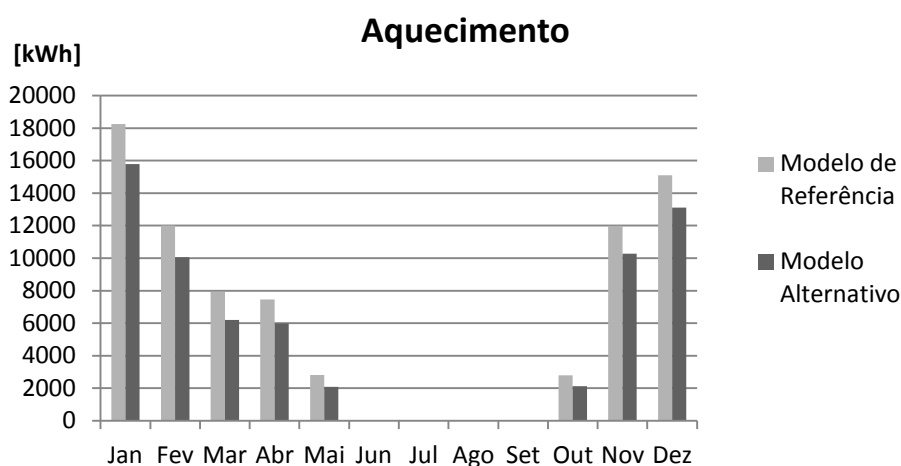


Figura 28 – Consumos associados ao aquecimento dos modelos de Referência e Alternativo

No que respeita às necessidades de aquecimento, o Modelo de Referência é pior que o Modelo Alternativo, uma vez que obriga a maiores consumos elétricos. No pico do Inverno,

chega a existir uma diferença de 2450 kWh/mês. Nesta comparação, o  $R_{\text{aquecimento}}$  é de 1,19, o que significa que a utilização do Modelo Alternativo como referência seria mais restritivo em termos do consumo associado ao aquecimento.

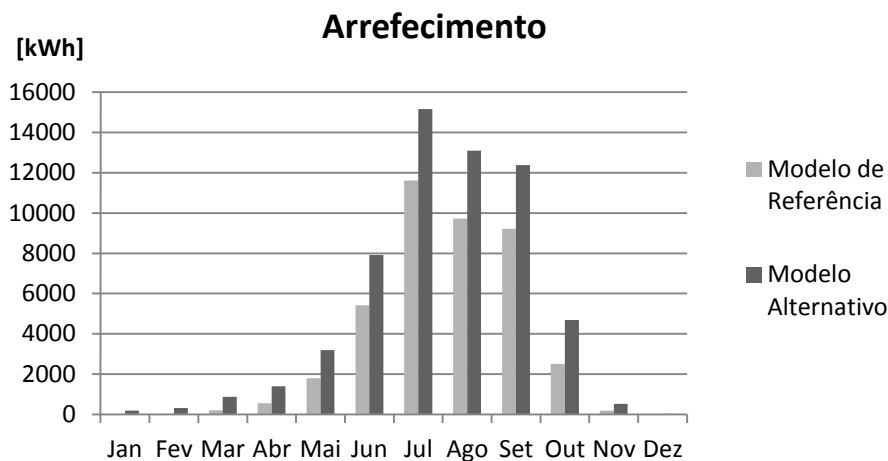


Figura 29 – Consumos associados ao arrefecimento dos modelos de Referência e Alternativo

Relativamente ao arrefecimento, apresenta-se a situação inversa. As necessidades de arrefecimento são maiores no Modelo Alternativo, verificando-se uma diferença de 3536 kWh/mês no mês de maiores necessidades. Esta diferença representa-se com um  $R_{\text{arrefecimento}}$  de 0,69, o que significa que a utilização do Modelo Alternativo como referência seria mais permissivo em termos do consumo associado ao arrefecimento.

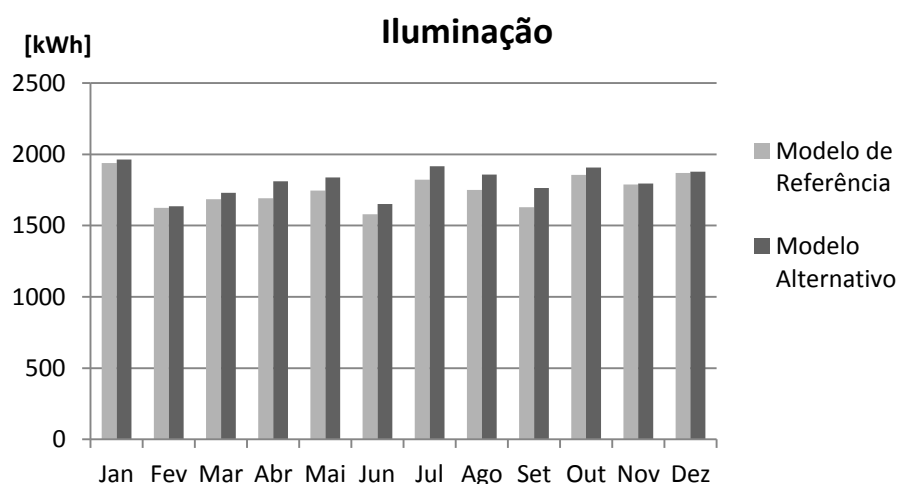


Figura 30 - Consumos associados à iluminação dos modelos de Referência e Alternativo

No que respeita à iluminação os consumos elétricos são idênticos para os dois modelos analisados, apresentando um  $R_{iluminação}$  de 0,96.

Uma análise conjunta dos consumos por aquecimento, arrefecimento e iluminação resulta num  $R_{total}$  de 0,78. Conclui-se assim que este Modelo Alternativo, que difere do Modelo de Referência pelo fator solar mais elevado e pela colocação de sombreamentos, consistiria no seu todo numa referência menos restritiva da atualmente adotada na legislação portuguesa.

## 7.2 Modelo Real e Modelo Alternativo

Comparam-se agora os modelos Real e Alternativo de forma a avaliar o desempenho energético do edifício face às condições de referência impostas por este último. Os valores das necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação apresentam-se nas figuras Figura 31, Figura 32 e Figura 33.

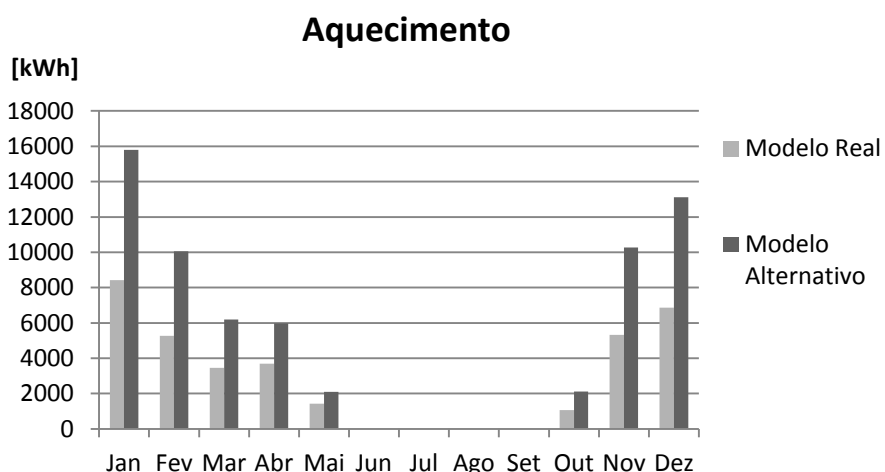


Figura 31 – Consumos associados ao aquecimento dos modelos Real e Alternativo

Conclui-se pelo gráfico que o Modelo Real tem um melhor desempenho energético de aquecimento comparativamente ao Modelo Alternativo. No mês de Janeiro, período de maiores necessidades, a utilização do Modelo Real conduziria ao consumo de menos 7379 kWh/mês face ao Modelo Alternativo. Esta diferença traduz-se num  $R_{aquecimento}$  de 0,54, o que significa que o consumo elétrico associado ao aquecimento no Modelo Real é quase metade do estimado para o Modelo Alternativo.

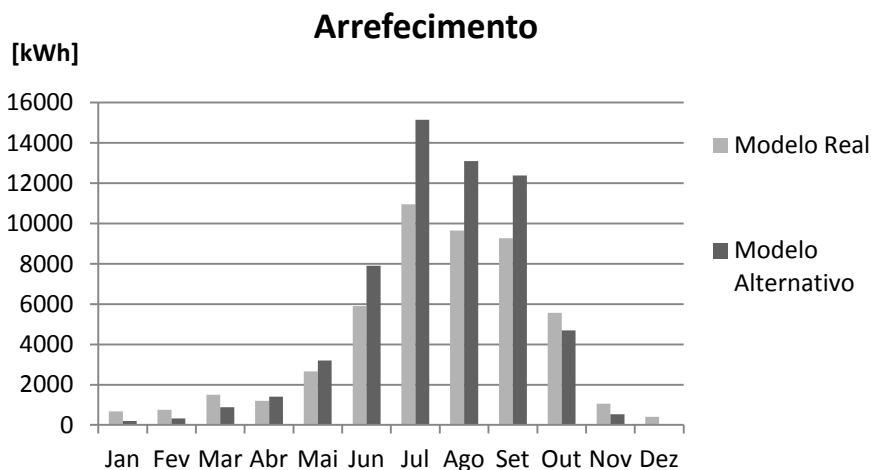


Figura 32 – Consumos associados ao arrefecimento dos modelos Real e Alternativo

Relativamente às necessidades de arrefecimento o Modelo Real tem também um melhor desempenho energético quando comparado com o Modelo Alternativo, numa diferença que se mostra de 4196 kWh/mês no mês de Julho. Sendo o valor de  $R_{\text{arrefecimento}}$  igual a 0,83 a utilização do Modelo Real significaria uma diminuição de 17% relativamente ao consumo elétrico associado ao arrefecimento no Modelo Alternativo.

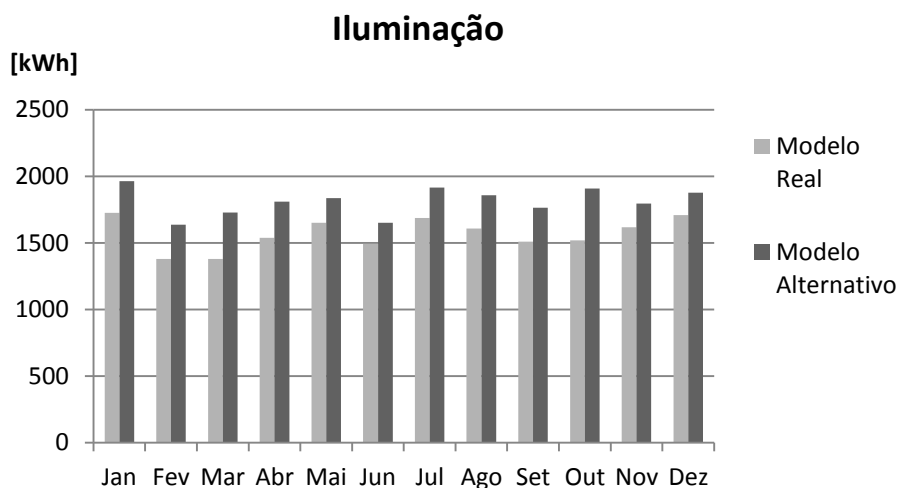


Figura 33 - Consumos associados à iluminação dos modelos Real e Alternativo

Relativamente à iluminação o consumo elétrico é um também inferior no Modelo Real, com um rácio  $R_{\text{iluminação}}$  de 0,87.



Analisando estes consumos no seu todo, obtém-se um  $R_{total}$  de 0,49, valor bastante significativo. Conclui-se assim que o Modelo Real possui um desempenho energético muito superior ao do Modelo Alternativo. Além disso, estes valores vêm confirmar o benefício associado ao uso das estratégias solares passivas utilizadas pelo arquiteto, bem como evidenciar que a escolha do Modelo de Referência na atual legislação pode ter uma influência significativa no apuramento do desempenho energético dos edifícios.



## 8. Conclusões

### 8.1 Conclusões

De forma a ter-se uma melhor percepção relativa ao comportamento térmico do edifício e objeto de análise e, consequentemente, de edifícios solares passivos semelhantes, foram desenvolvidos dois modelos. O primeiro, Modelo Real, representa a realidade do edifício analisado enquanto o segundo, Modelo de Referência, utiliza os valores de referência para os elementos construtivos previstos na legislação. Para esta análise foi definido um indicador, Indicador de Desempenho Energético, que permite uma melhor compreensão das necessidades energéticas do edifício e o estabelecimento de uma análise comparativa entre ambos os modelos.

Relativamente aos consumos devidos ao aquecimento, verificou-se um  $IDE_{\text{aquecimento}}$  de 67,7  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  para o Modelo Real e 149,6  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  para o Modelo de Referência, o que se traduz num  $R_{\text{aquecimento}}$  de 0,45. Nos consumos devidos ao arrefecimento a situação entre os dois modelos inverte-se sendo que o  $IDE_{\text{arrefecimento}}$  é de 92,4  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  no Modelo Real e de 76,97  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  no Modelo de Referência, resultando num  $R_{\text{arrefecimento}}$  de 1,20. Por sua vez os valores relativos ao consumo das lâmpadas são idênticos nos dois modelos, com uma razão  $R_{\text{iluminação}}$  de 0,9.

Para o cálculo do  $IDE_{\text{TOTAL}}$  aplicou-se a ponderação dos rendimentos dos sistemas de iluminação, aquecimento e arrefecimento. Posto isto, a alteração mais significativa consiste na redução de praticamente 30% do consumo elétrico devido ao arrefecimento que se confirma em ambos os modelos. Verifica-se ainda que o consumo elétrico devido ao aquecimento nas condições de referência seria o dobro do observado no Modelo Real. Por sua vez, os consumos devidos ao arrefecimento são muito semelhantes nos dois modelos. Surge então um  $IDE_{\text{TOTAL}}$  de 137,03  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  para o Modelo Real e de 217,26  $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{ano}$  para o Modelo de Referência. A razão entre estes valores é de 0,63, o que significa que na realidade o consumo elétrico total do edifício é 37% menor do que se fossem adotadas as condições de referência preconizadas na legislação nacional.

No que respeita às variações paramétricas analisadas, observa-se que a ventilação noturna provocaria uma pequena diminuição nas necessidades de arrefecimento. Já a alteração proveniente da duplicação da espessura do isolamento térmico seria benéfica no período de aquecimento mas prejudicial no período de arrefecimento, pelo que se reforça a necessidade de avaliar, para cada situação, a influência do aumento da espessura de isolamento em ambos os períodos. Relativamente à orientação do edifício comprova-se que a sua real orientação a sul é a que otimiza o desempenho energético em todas as estações e períodos do dia. Tal como seria de esperar, a utilização de vegetação nas fachadas a sul reduziria as necessidades de arrefecimento do período de verão.

Por último, posta a questão da adequabilidade dos valores de referência descritos na legislação, foi estudado um terceiro modelo, designado por Modelo Alternativo à referência, que pressupõe algumas alterações nos vãos envidraçados do edifício ao nível do fator solar e dos sombreamentos. Concluiu-se com esta análise que o Modelo Real, projetado tendo em especial atenção várias estratégias solares passivas, é, na sua globalidade, mais eficiente quando comparado com qualquer um dos outros modelos. Este estudo vem também demonstrar que a definição do edifício de referência tem uma enorme importância no Indicador de Desempenho Energético dos edifícios.

## Referências Bibliográficas

ADENE, *Energy efficiency trends in buildings in the EU*. ADEME, 2012

Ashrae, *Ashrae Handbook Fundamentals*. Ashrae Society, 2005

Bio-mag, *Architecture bioclimatique: l'habitat solaire passif*. 2008 [acesso em 2013 Jun 17]  
Disponível em [www.bio-mag.fr](http://www.bio-mag.fr)

Buildings Performance Institute Europe, *Principles for nearly zero-energy buildings*. BPIE, 2011

EN 12464, *Lighting of work places, indoor work places*. 2011

EnergyPlus, *Engineering Reference*. The Reference to EnergyPlus Calculation, 2010

EnergyPlus, *Input Output Reference*. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, 2010

European Commission, *Energy Roadmap 2050*. 2011

European Union, *Energy 2020*. Publications office of the European Union, 2011

Gonçalves, H., Graça, J.M.. *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. INETI, 2004

Hoff, T., *Roma – Cidade, Arquitectura, Arte e Cultura*. Universidade do Oeste de Santa Catarina, Brasil, 2010

International Energy Agency, *Portugal 2009 Review*. 2009

ISO 13790, *Energy Performance of Buildings, Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling*. 2008

Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C.. *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings, 40, 394-398. 2008

Mackay, D., *Sustainable Energy – without the hot air*. UIT Cambridge, England, 2009

Mateus, N., *Validação de modelos de simulação térmica num edifício de dupla pele sem climatização*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2012

Moita, F., *Energia Solar Passiva*. Argumentum, 2010

Morozov, N., *Passive Solar Systems in commercial-type buildings*. VIA University College, Denmark, 2011

Patrício, A., *Avaliação de componentes solares passivos em Portugal: o caso das estufas*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 1997

Pina dos Santos, *Caracterização térmica de paredes de alvenaria*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986

Pina dos Santos, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

U.S. Department of Energy, *Passive Solar Design*. Office of building technology, state and community programs, USA, 2000

## Anexos

### Anexo I – Equipamentos elétricos considerados

Tabela 177 - Ganhos térmicos dos computadores e equipamentos utilizados

<b>Espaço</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>Ganho térmico [W]</b>
Gabinetes	1 PC + ecrã	125
	1 impressora	70
Salas de reuniões	1 PC + projetor	375
Sala de informática	6 PC + ecrã	750
	1 impressora	70
	servidores*	1670
Biblioteca	1 PC + ecrã	150
Cozinha	vários	4800
Auditório	4 PC + ecrã	500
	1 PC + projetor	400
Cabines	1 PC + ecrã	125
	outros equipamentos*	530
Recepção	1 PC + ecrã	125

\* estimativa (não existe informação sobre este tipo de equipamentos)





## **Anexo II – Dados climáticos do ficheiro PRT COIMBRA IWE**

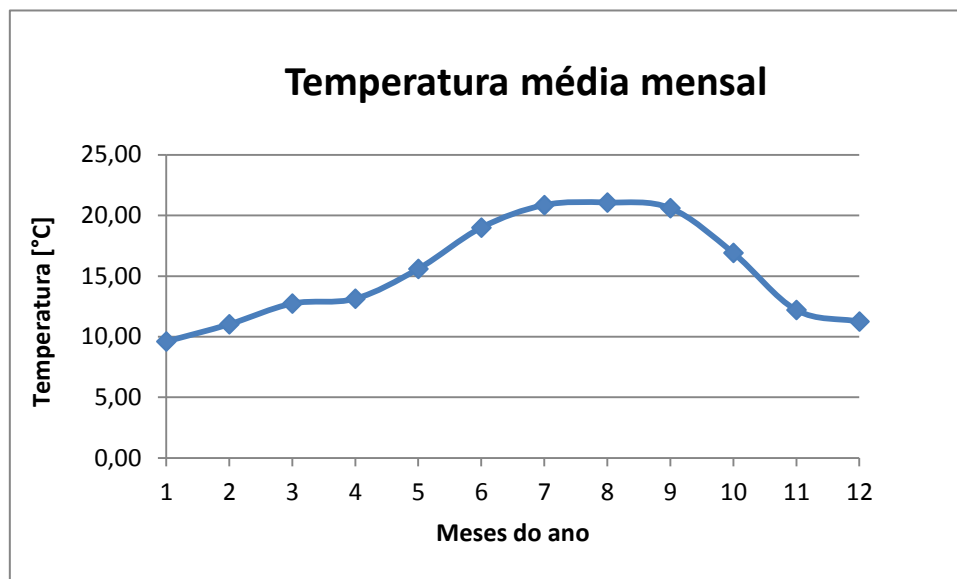


Figura 34 - Temperatura média mensal descrita no ficheiro climático utilizado

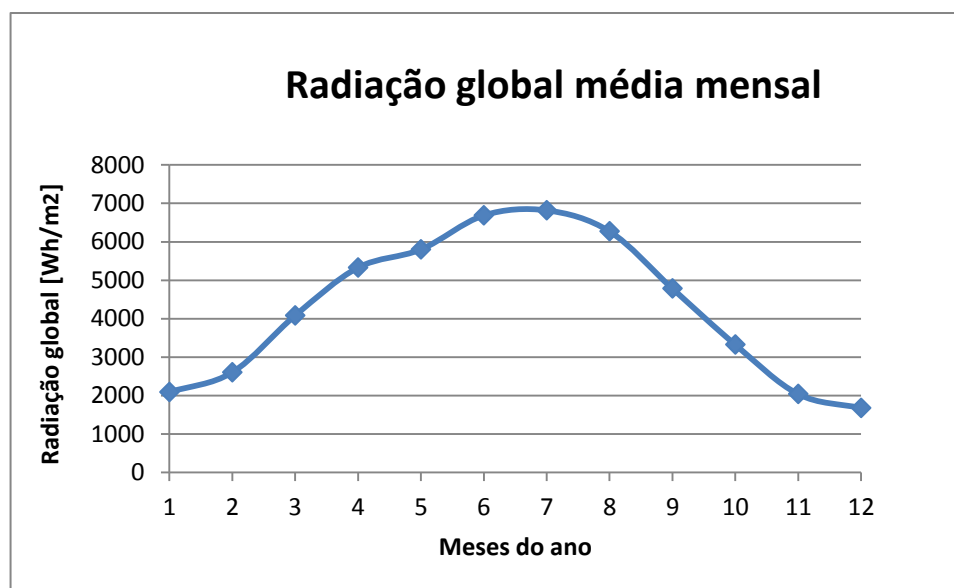


Figura 35 - Radiação média global descrita no ficheiro climático utilizado

## **Anexo III – Brochura do edifício**



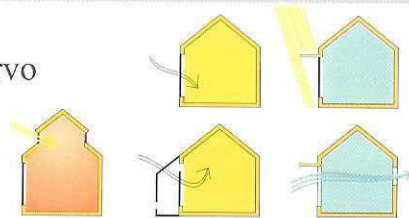


**CBE**

**Centro da Biomassa para a Energia**

**Miranda do Corvo**

Arquitectura — Arqº. Francisco Moita  
Construção — 1992





Este edifício alberga o Centro da Biomassa para a Energia (CBE) e é constituído por dois corpos com funcionalidades distintas, ligados por uma passagem coberta. O corpo principal, posicionado a Sul, possui os serviços administrativos com gabinetes e os serviços sócio-culturais com um auditório, cafeteria, cozinha e refeitório; o outro corpo, situado a Norte do primeiro, é ocupado por laboratórios e pela nave industrial.

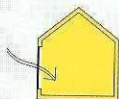
A concepção arquitectónica teve como princípio a utilização dos ganhos solares através de grandes vãos orientados a Sul e o seu controlo eficaz no período de Verão. Outro princípio orientador neste projecto foi o relativo aos aspectos de iluminação natural, com a utilização de lumiductos de posição sazonal e uma organização espacial que permite excelentes níveis de iluminação nas zonas a Norte. O edifício utiliza também espaços estufa numa estratégia de aquecimento e arrefecimento consoante as necessidades. A ventilação natural é possibilitada através de bandeiras nos vãos e nas portas. No aspecto construtivo, trata-se de um edifício com bons níveis de isolamento, mas prejudicado por uma finalização incompleta que inviabiliza um melhor comportamento térmico, principalmente no que respeita à ausência de vegetação como elemento sombreador na maioria dos vãos envidraçados a Sul.

*Vista da fachada Sul (corpo principal)*



#### GANHO DIRECTO

78% a Sul e Sudoeste  
vidros simples e duplos



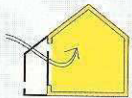
#### LUMIDUCTOS

posição de Verão e Inverno



#### ESTUFA

vidro simples  
bandeiras de ventilação

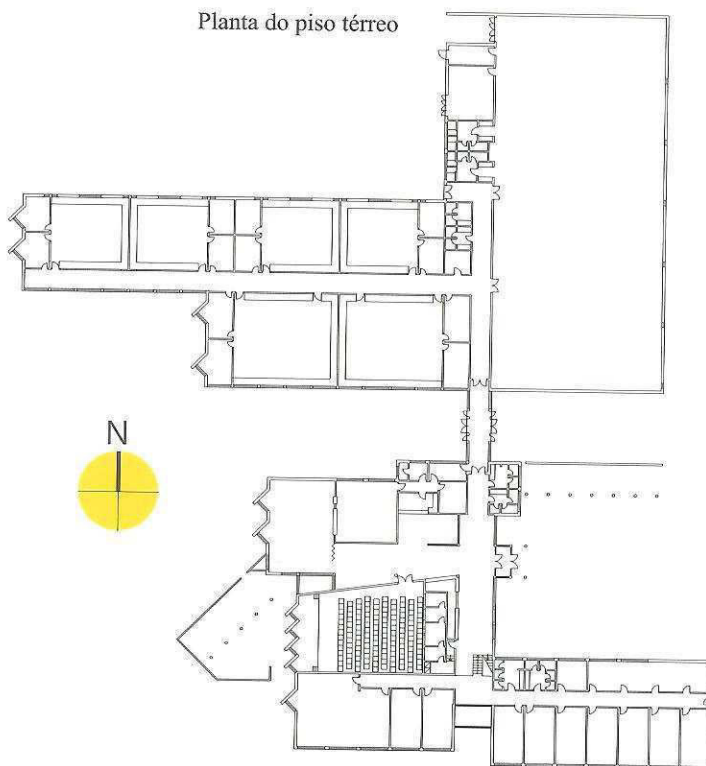


#### SOMBREAMENTO e VENTILAÇÃO

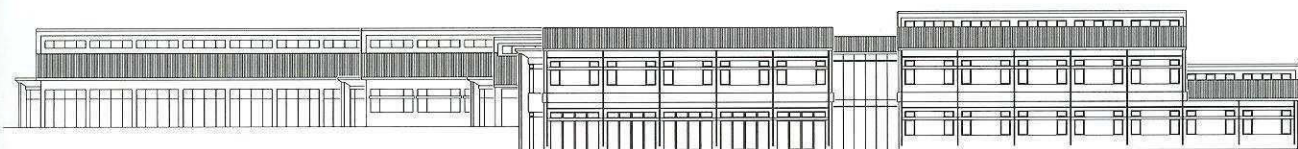
palas exteriores  
estrutura metálica para vegetação  
bandeiras de ventilação



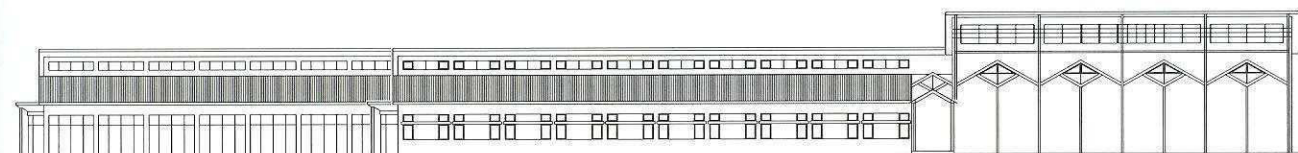
Planta do piso térreo



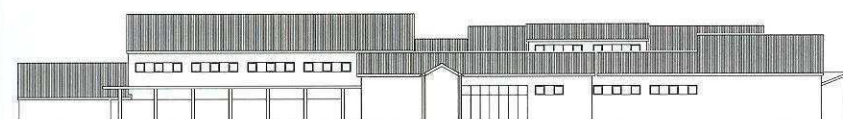




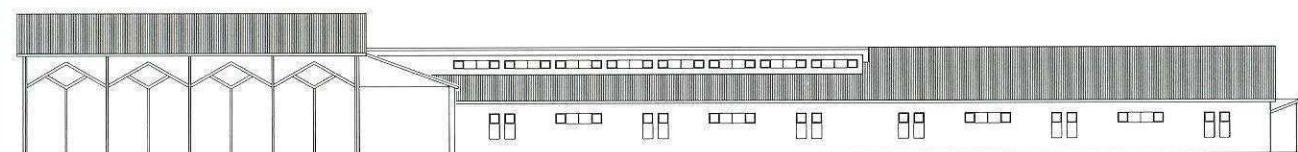
Alçado Sul (corpo principal)



Alçado Sul (laboratórios e oficinas)



Alçado Norte (corpo principal)



Alçado Norte (laboratórios e oficinas)

Pavimento útil	3018m <sup>2</sup>
Envidraçados	557m <sup>2</sup>
$A_{env}/A_{pav}$	18%

A área total do edifício é de cerca de 3018 m<sup>2</sup> e possui 557 m<sup>2</sup> de vãos predominantemente orientados a Sul (78%) de forma a proporcionar os necessários ganhos solares no Inverno em todas as zonas do edifício. Para a protecção eficaz destes vãos numa situação de Verão, foram previstos vários tipos de sombreadores conforme o tipo de vão. O mais importante é uma estrutura metálica, colocada no exterior da fachada, que seria coberta de vegetação de folha caduca e permitiria o sombreamento eficaz na maioria dos vãos. Na realidade, a vegetação não foi colocada e o resultado é uma situação de desprotecção total destas fachadas, com consequências nefastas no período de Verão, verificando-se, de acordo com os utilizadores, situações de sobreaquecimento nalgumas zonas do edifício.

*Pormenor da estrutura metálica para suporte da vegetação de folha caduca, notando-se as floreiras vazias*







*Pormenor das palas de sombreamento na fachada Sul*

Também foram utilizados sombreadores fixos de pala, compostos por lâminas metálicas cuja inclinação possibilita o sombreamento a partir do mês de Abril.

A Sudoeste existem 46 m<sup>2</sup> de envidraçados, protegidos lateralmente por planos verticais de alvenaria. A utilização destas superfícies permite que nos dias de Verão, devido aos elevados azimutes de pôr do sol e à elevada radiação solar, os vãos colocados nas fachadas Poente tenham uma protecção quase total. Esta solução é mais eficaz do que os sombreadores fixos horizontais.

#### Características Térmicas da envolvente

Transmissão térmica (K)	W/m <sup>2</sup> °K
Paredes	0,55
Cobertura	0,70/0,80
Pavimento	0,70
Vidros: simples	5,8
duplos	4,0
Coef. global de perdas (sem infiltrações)	W/°Km <sup>2</sup>
	2,3
Massa Térmica	0,49 MJ/m <sup>2</sup> K

*Pormenor de janelas na fachada Poente, orientadas a Sudoeste e protegidas lateralmente por planos verticais*







*Vista da fachada Poente*

O corpo das oficinas tem uma cobertura cujo perfil recortado permite a obtenção de luz zenital através de superfícies translúcidas orientadas a Sul. Estes vãos são protegidos por uma estrutura laminar, de modo que seja possível ter insolação directa somente no Inverno. A inclinação das lâminas permite evitar a insolação directa numa situação de Verão.

O edifício tem ainda duas estufas situadas no corpo principal e uma zona de passagem envidraçada que faz a ligação entre os dois corpos. As estufas, destinadas a possuir vegetação, funcionam como espaços de captação solar possibilitando, através de aberturas, a convecção para o interior do edifício insuflando ar aquecido durante o Inverno. No período de Verão, as estufas seriam devidamente protegidas pela referida vegetação, sendo possível abrir alguns envidraçados e promover a ventilação natural.



*Aspecto interior do corpo das oficinas*

*Pormenor de uma situação de estufa*



#### RCCTE Zona Climática I3V1

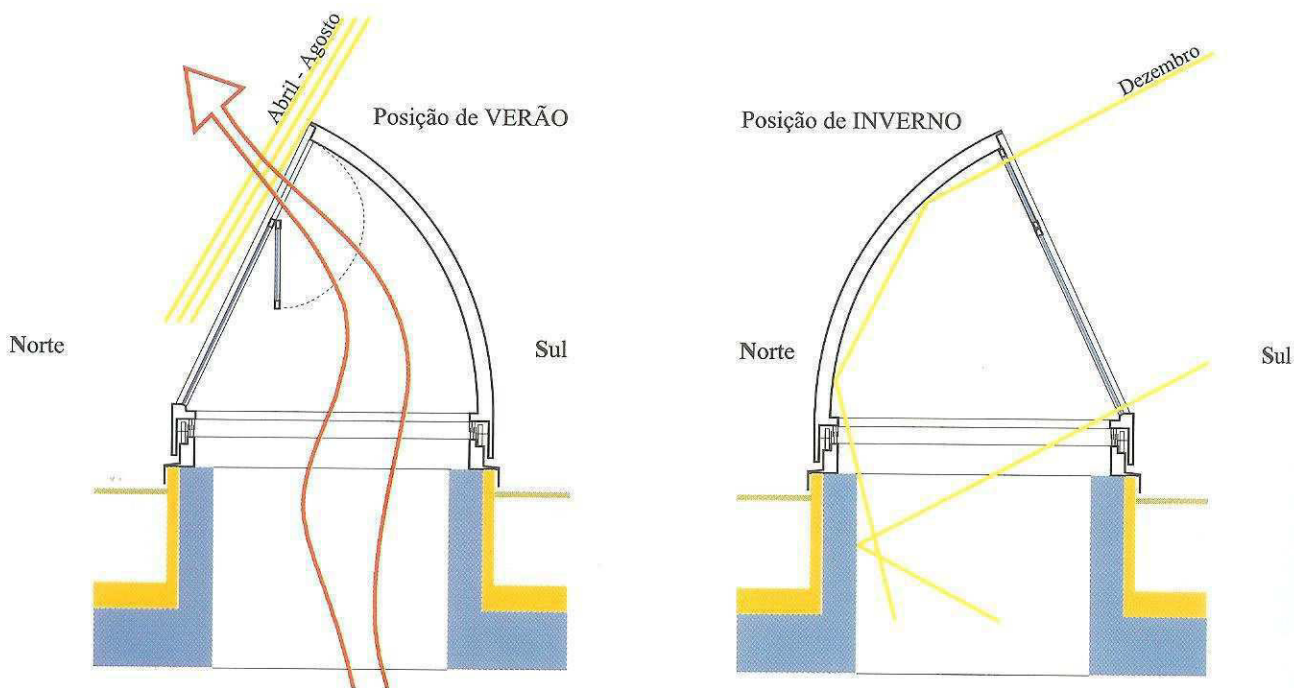
Índices de Desempenho Térmico  
INVERNO: 0,57 VERÃO: 0,36





Em termos de iluminação natural, verifica-se que a grande área de vãos é suficiente para promover bons níveis de iluminação nas zonas orientadas a Sul. A existência de uma faixa de janelas sobre a cobertura permite também que as zonas mais a Norte tenham também a necessária iluminação.

No átrio principal foram construídos lumiductos na cobertura que, para além dos ganhos lumínicos, possibilitam ainda ganhos solares e ventilação natural. Estes dispositivos têm duas posições de funcionamento, conforme seja Verão ou Inverno. Assim, durante o Verão, serão orientados a Norte e permitirão somente a iluminação natural e a ventilação; durante o Inverno, serão orientados a Sul permitindo a obtenção de ganhos solares. Mais uma vez se verifica uma irregular utilização destes dispositivos, não sendo possível tirar o máximo partido das suas potencialidades.



*Pormenor da instalação de lumiductos na cobertura*

